

**REDUCTIE VAN WEGVERKEERSLAWAAI TIJDENS DE VOORTPLANTING –
GELUIDSSCHERMEN EN (GELUIDS)ABSORBERENDE WANDBEKLEDINGEN**

Inhoud

1.1.	INLEIDING.....	5
1.2.	FYSISCHE VERSCHIJNSELEN	6
1.2.1	<i>Geluidsreflectie</i>	7
1.2.1.1	Enkelvoudige reflectie.....	7
1.2.1.2	Meervoudige reflectie.....	9
1.2.1.3	Interactie met de voertuigcarrosserie.....	11
1.2.1.4	Meervoudige reflectie: tunnels.....	12
1.2.2	<i>Geluidsdiffractie</i>	15
1.2.2.1	Fysisch verschijnsel	15
1.2.2.2	Hoe de prestaties van geluidsschermen berekenen?	17
1.2.2.3	Waar geluidsschermen plaatsen?	18
1.2.2.4	Aarden geluidswallen.....	19
1.2.3	<i>Geluidsoverdracht (door de lucht)</i>	21
1.2.3.1	Fysisch verschijnsel	21
1.2.3.2	Doorgelaten energie beperken	22
1.2.3.3	Hoog presterende voorzieningen.....	23
1.2.3.4	Bijzondere gevallen die de geluidsisolatieprestaties beïnvloeden	24
	Plaatselijke geluidslekken	24
	Drainageconstructies	24
	Faunadoorgang.....	24
	Doorgang voor personen	24
1.2.3.5	Hoe goede geluidsisolatie realiseren?	26
1.3.	FACTOREN DIE DE AFNAME VAN WEGVERKEERSLAWAAI TIJDENS DE VOORTPLANTING BEÏNVLOEDEN	27
1.3.1	<i>Afmetingen</i>	27
1.3.1.1	Hoogte – Lengte - Volume	27
	Hoogte	27
	Lengte	27
	Volume.....	29
1.3.1.2	Relatieve positie van voertuigen en ontvangers – Topografie - Profiel van de infrastructuur.....	30
	Weg in ingraving – Weg op maaiveldhoogte - Weg in ophoging	30
	Efficiëntie van <i>schermen</i> naargelang van het lengteprofiel en de topografie.....	32
	Lage geluidsschermen.....	34
1.3.1.3	Frequentiedomein - Tijdsdomein	36
	Frequentiedomein	36
	Tijdsdomein	36
1.3.2	<i>Vorm van de objecten</i>	37
1.3.2.1	Voertuigen	37
1.3.2.2	Geluidsschermen	37
1.3.3	<i>Intrinsieke kenmerken van de constructies</i>	39
1.4.	MARKT VAN GELUIDSSCHERMEN EN (GELUIDS)ABSORBERENDE WANDBEKLEDINGEN	49
1.4.1	<i>Productnorm NBN EN 14388</i>	49
1.4.2	<i>Transparante geluidsschermen</i>	52
1.4.3	<i>Niet-transparante constructies</i>	53
1.4.3.1	Constructies van metaal.....	54
1.4.3.2	Constructies van plastic	55
1.4.3.3	Constructies van hout	57
1.4.3.4	Constructies van beton	58
1.4.3.5	Geluidsschermen van minerale wol.....	61
1.4.3.6	Schanskorven	62
1.4.3.7	Andere bijzondere constructies	64
	Sonische kristallen	64
	Fotovoltaïsche panelen.....	65
	Zonnepanelen	65
	Diffracterende kant van de rijbaan	66

Lijst van de figuren

Figuur 1 – De drie voornaamste fysische verschijnselen voor wegverkeerslawaai: emissie, voortplanting en ontvangst	5
Figuur 2 – De drie voornaamste fysische verschijnselen voor de voortplanting van wegverkeerslawaai: reflectie, diffractie en overdracht.....	6
Figuur 3 – Enkelvoudige reflectie op een obstakel	7
Figuur 4 –Wet van speculaire reflectie: reflectiehoek = invalshoek	7
Figuur 5 – Voorbeelden van enkelvoudige reflectie in een stedelijke omgeving	8
Figuur 6 –Schuine reflecterende schermen en wanden absorberen invallende golven niet!	8
Figuur 7 – Voorbeelden van meervoudige reflectie in een stedelijke omgeving.....	9
Figuur 8 – Verticale geluidskaarten ter illustratie van het effect van meervoudige reflectie (equivalent geluidsdrukniveau $L_{Aeq, 12H}$)....	9
Figuur 9 – Interactie tussen een bestelwagen een (geluids)reflecterende wand (alsof de geluidsbron kunstmatig is verhoogd)	11
Figuur 10 – Verloop in de tijd van het geluid bij de doortocht van een vrachtwagen, zonder en met scherm.....	12
Figuur 11 – Verticale geluidskaart van het equivalent geluidsniveau $L_{Aeq, 1H}$ (1 vrachtwagen/h, snelheid 100 km/h).	12
Figuur 12 – Voortbeweging van een voertuig dat een tunnel inrijdt: de tunnel vangt steeds meer energie op en zendt die naar de uiteinden.....	13
Figuur 13 – Verloop in de tijd van het geluidsniveau $L_A(t)$ bij de doortocht van een voertuig aan een tunnelmond.....	14
Figuur 14 – Verticale geluidskaarten voor het equivalent geluidsniveau $L_{Aeq, 1h}$, met (links) en zonder tunnel (rechts).....	14
Figuur 15 – Voortplanting van een golffront op een obstakel (principe van Huygens-Fresnel)	15
Figuur 16 – Voortplanting van een golffront op een reflecterend oppervlak.....	16
Figuur 17 – Voortplanting van onderhouden golven op een reflecterend obstakel, met reflectie op de grond	16
Figuur 18 – Voortplanting van onderhouden golven op een reflecterend scherm, met voertuig-scherminteractie	17
Figuur 19 – Maekawa-diagram ter bepaling van de efficiëntie van geluidsschermen.....	17
Figuur 20 – Voorbeeld van vereenvoudigde berekening van de efficiëntie van een geluidsscherm	18
Figuur 21 – Hoe dichter het scherm bij de geluidsbron, hoe steiler de schaduwlijn en en efficiënter het geluidsscherm	18
Figuur 22 – Lager geluidbeperkend effect van een geluidsscherm voor de verst gelegen geluidsbronnen.....	19
Figuur 23 – Aarden geluidswallen: groter ingenomen grondoppervlak, minder steile schaduwlijn, minder efficiënt	19
Figuur 24 – Aarden geluidswallen: aanvalshoek van het golffront en volume van het obstakel	20
Figuur 25 – Maekawa-diagram: afname van de efficiëntie als functie van de hoeken θ en Ω	20
Figuur 26 – Voortplanting van een golffront op een aarden geluidswal	20
Figuur 27 – Geluidsoverdracht (door de lucht) van een geluidsscherm	21
Figuur 28 – Geluid achter het scherm: <i>overgedragen</i> energie + <i>gediffracteerde</i> energie.....	22
Figuur 29 – Beperkend effect van de geluidsoverdracht als functie van de luchtgeluidsisolatieprestatie van een scherm	22
Figuur 30 – Beperkend effect van de geluidsoverdracht als functie van de luchtgeluidsisolatieprestatie van een scherm	23
Figuur 31 – Beperkend effect van de geluidsoverdracht als functie van de luchtgeluidsisolatieprestatie van een scherm	23
Figuur 32 – Geluidsabsorberend sas voor de doorgang van personen naast de E42 in Fleurus.....	25
Figuur 33 – Geluidskaarten ter illustratie van de invloed van de lengte	28
Figuur 34 – Verloop in de tijd van het geluidsniveau bij de doortocht van een voertuig aan een geluidsscherm	29
Figuur 35 – Invloed van het lengteprofiel van een weg en van de topografie op de voortplanting van geluid voor een weg in ingraving, op maaiveldhoogte en in ophoging.....	30
Figuur 36 – Invloed van het lengteprofiel van een weg en van de topografie op de voortplanting van geluid voor een weg in open sleuf, op maaiveldhoogte en op een viaduct.....	31
Figuur 37 – Invloed van het lengteprofiel van een weg en van de topografie op de efficiëntie van geluidsschermen voor een weg in ingraving of open sleuf, op maaiveldhoogte, in ophoging of op een viaduct.....	32
Figuur 38 – In een stedelijke omgeving hebben wegen op een viaduct of in ophoging de grootste invloedszone	32
Figuur 39 – Geluidsschermen zijn het efficiëntst voor wegen op een viaduct en in ophoging	33
Figuur 40 – Toepassing van een middenbermscherm om de hoogte van de zijschermen te verminderen	33
Figuur 41 – Toepassing van een middenbermscherm om een gebouw van negen verdiepingen hoog beter af te schermen	34
Figuur 42 – Voorbeeld van laag geluidsscherm naast een spoorbaan.....	34
Figuur 43 – Laag groenscherm in een stedelijke omgeving	35

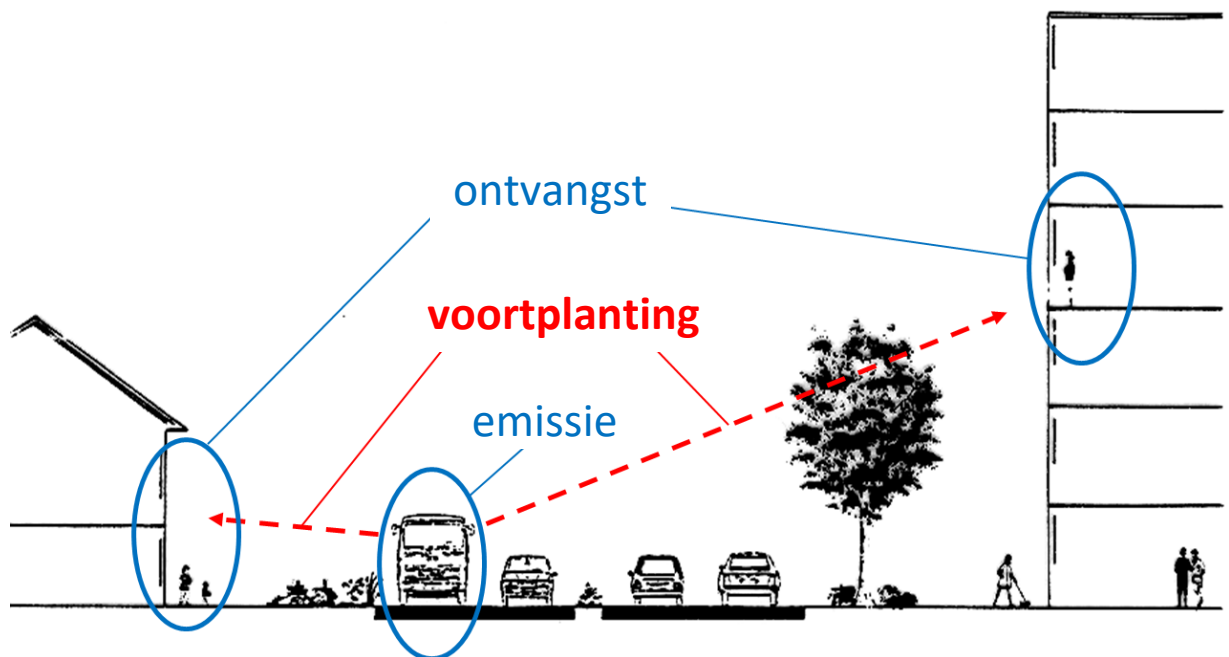
Figuur 44 – Invloed van de golflengte op de prestatie van een geluidsscherm.....	36
Figuur 45 – Voertuig met bijzondere carrosserie naast een scherm met geoptimaliseerde vorm	37
Figuur 46 – Geluidskaarten (-15 m tot +45 m boven het spoor en 10 m tot 150 m rechts naast het spoor) als functie van de soort van geluidsscherm voor een hogesnelheidstrein (vormgeving en geluidsabsorberende kenmerken).....	38
Figuur 47 – Gebogen scherm voor beheersing van meervoudige reflectie	38
Figuur 48 – Voorbeelden van geluidsschermen met extra voorzieningen	39
Figuur 49 – De prestatie van een extra voorziening rechtvaardigt niet altijd een lagere hoogte	39
Figuur 50 – Overzicht van de Europese normen voor akoestische kenmerken van geluidbeperkende constructies	40
Figuur 51 – Normatief kader voor geluidbeperkende constructies langs wegen	42
Figuur 52 – Voorbeeld van meetverslag over de geluidsreflectiekenmerken volgens de EN 1793-5 (1)	43
Figuur 53 – Voorbeeld van meetverslag over de geluidsreflectiekenmerken volgens de EN 1793-5 (2)	44
Figuur 54 – Voorbeeld van meetverslag over de geluidsreflectiekenmerken volgens de EN 1793-5 (3)	45
Figuur 55 – Voorbeeld van meetverslag over de luchtgeluidsisolatiekenmerken volgens de EN 1793-6 (1).....	46
Figuur 56 – Voorbeeld van meetverslag over de luchtgeluidsisolatiekenmerken volgens de EN 1793-6 (2).....	47
Figuur 57 – Voorbeeld van meetverslag over de luchtgeluidsisolatiekenmerken volgens de EN 1793-6 (3).....	48
Figuur 58 – Voorbeeld van productkaart van een geluidbeperkende constructie met CE-markering (EN 14388 : 2004)	50
Figuur 59 – Voorbeelden van (visueel) transparante geluidsschermen	52
Figuur 60 – Voorbeeld van dynamisch transparant geluidsscherm	52
Figuur 61 – Voorbeeld van geluidsscherm van metaal en van de aanbrengingswijze.....	54
Figuur 62 – Constructies van metaal: A = verticale elementen; B = schuine elementen; C = horizontale elementen; D = wandbekledingen.....	54
Figuur 63 – Voorbeeld van geluidsscherm van plastic en van de aanbrengingswijze	55
Figuur 64 – Constructies van plastic: A en D = rechte, verticale elementen; B en C = schuine, horizontale elementen	56
Figuur 65 – Voorbeelden van geluidsschermen van hout en van de aanbrengingswijze	57
Figuur 66 – Constructies van hout: A, B, C = schermen; C = met begroeiing; D = wandbekleding	57
Figuur 67 – Voorbeeld van (aanbrenging van) zelfdragend betonnen geluidsscherm met geluidsabsorberende bekleding van hout .	58
Figuur 68 – Voorbeeld van (aanbrenging van) zelfdragend betonnen geluidsscherm met geluidsabsorberende bekleding van metaal	58
Figuur 69 – Geluidsschermen van beton: A, B = poreus beton; C, D = houtbeton; E, F, G, H = stapelconstructie	60
Figuur 70 – Voorbeeld van geluidsscherm van minerale wol	61
Figuur 71 – Geluidsschermen van minerale wol: A, B, C, D = algemeen zicht; C, D = met klimplanten	61
Figuur 72 – Schanskorven: met stenen gevulde metalen kooi (links) en als elementen van een geluidsscherm (rechts)	62
Figuur 73 – Voorbeelden van kleur- en textuurmogelijkheden (links) en van dunne schanskorven als bouwelementen van een muur (rechts).....	62
Figuur 74 – Voorbeeld van geluidsscherm met schanskorven met uitstekende geluidsabsorberende en -isolerende prestaties	63
Figuur 75 – Sonische kristallen: sculptuur van Eusebio Sempere (Madrid)	64
Figuur 76 – Effect van sonische kristallen op de voortplanting van geluidsgolven met verschillende frequenties	65
Figuur 77 – Voorbeeld van geluidsscherm met fotonische cellen	65
Figuur 78 – NOISUN-project: geluidsschermen met zonnepanelen	65
Figuur 79 – Whisstone: proefstrook met diffracterende kant van de rijbaan (Soesterberg, Nederland).....	66
Figuur 80 – Theoretische voortplanting van een hemisferische golf, zonder en met resonator.....	66

1.1. Inleiding

Om de negatieve effecten van geluid van wegverkeer (verderop meestal *wegverkeerslawaai* genoemd) efficiënt te verminderen, is een goed begrip van de fysische verschijnselen die dit soort van geluid van de emissie tot de ontvangst bepalen, onmisbaar.

Het zijn dan ook de fysische verschijnselen die de efficiëntie van geluidbeperkende constructies voor het verminderen van wegverkeerslawaai bepalen.

Op figuur 1 zijn de drie voornaamste fysische verschijnselen voor wegverkeerslawaai schematisch weergegeven: geluid**emissie** door voertuigen, **voortplanting** in een stedelijke omgeving en **ontvangst** aan en in woningen.



Figuur 1 – De drie voornaamste fysische verschijnselen voor wegverkeerslawaai: emissie, voortplanting en ontvangst

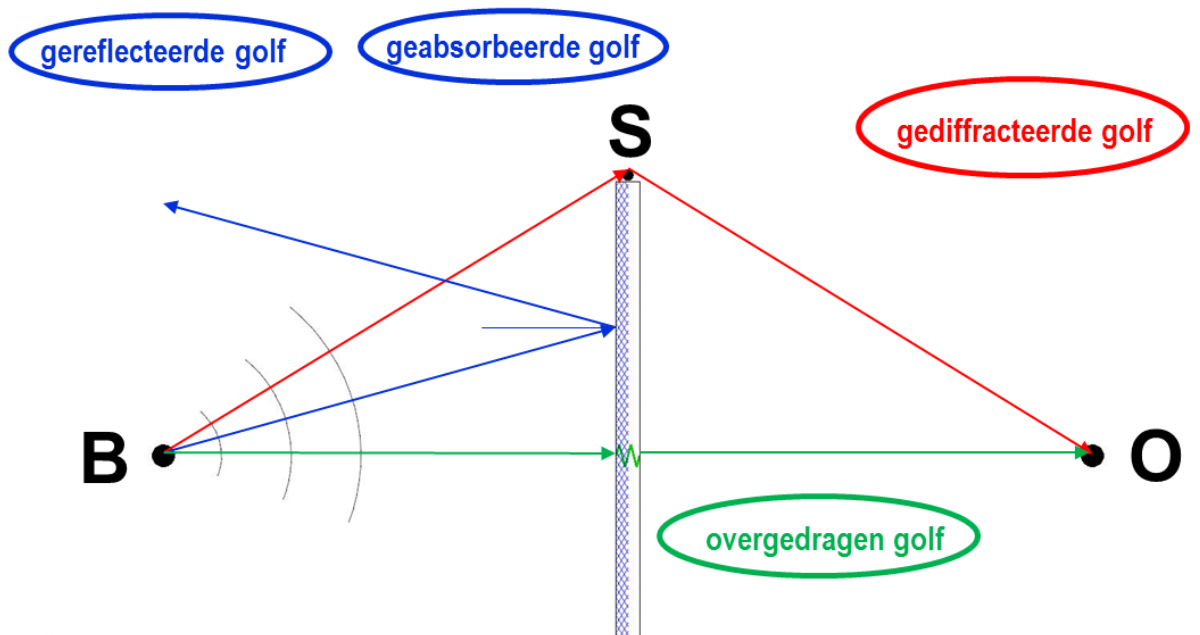
Dit hoofdstuk handelt over constructies om wegverkeerslawaai te verminderen tijdens de **voortplanting**, namelijk geluidsschermen en (geluidsabsorberende) bekledingen die geluidsreflectie op wanden verminderen.

Om de **voortplanting van het geluid van wegverkeer** te verminderen, worden meestal **obstakels tussen de voertuigen en de omgeving** geplaatst. Zeer vaak zijn dat **geluidsschermen**. Tijdens de voortplanting in de omgeving kan het geluid echter ook reflecteren op (geluidsreflecterende) wanden zoals keermuren en zelfs geluidsschermen (als deze niet geluidsabsorberend zijn). Om die **geluidsreflectie** te **verminderen**, worden **geluidsabsorberende wandbekledingen** toegepast. Voor zover de uitleg verderop op deze beide soorten van toepassing is, worden ze met de gemeenschappelijke term “**geluidbeperkende constructies**” aangeduid.

Onder 11.2 staan de *fysische verschijnselen* voor de voortplanting van wegverkeerslawaai beschreven.

Onder 11.3 worden de *factoren* die de efficiëntie van geluidsschermen en (geluids)absorberende wandbekledingen bepalen, behandeld.

1.2. Fysische verschijnselen



Figuur 2 – De drie fysische verschijnselen voor de voortplanting van wegverkeerslawaai: reflectie, diffractie en overdracht

Figuur 2 toont schematisch de drie fysische verschijnselen die een rol spelen bij de voortplanting van wegverkeerslawaai: **reflectie** (weerkaatsing), **diffractie** (verstrooiing) en **overdracht**.

In deze schematische weergave wordt de geluidsbron (een voertuig in het geval van wegverkeerslawaai) met de letter **B**, de top van het geluidsscherf met de letter **S** en de ontvanger (bijvoorbeeld een voetganger) met de letter **O** aangeduid.

Op de figuur zouden nog andere reflecties kunnen worden toegevoegd, zoals reflectie op de grond voor en achter het scherm of op elk nabijgelegen scherm. Voor de duidelijkheid is dat niet gebeurd en worden deze reflecties pas verderop behandeld.

Van zodra een voertuig (**B**) geluid (rolgeluid, motorgeluid, aerodynamisch geluid) voortbrengt, plant het zich nagenoeg als een puntbron voort naar het scherm, namelijk in de vorm van sferische golven.

Wanneer de golf een obstakel (bijvoorbeeld een geluidsscherf) nadert:

- wordt de energie gedeeltelijk gereflecteerd op het obstakel (gereflecteerde golf) en, afhankelijk van de geluidsabsorberende kenmerken van het obstakel, gedeeltelijk geabsorbeerd (geabsorbeerde golf);
- plant een ander deel van de energie zich voort *over* de top van het scherm (**S**) (gediffracteerde golf);
- plant nog een ander deel van de energie zich voort *door* het scherm (overgedragen golf).

Al deze golven zijn belangrijk, want zij bepalen samen het geluid dat de ontvanger (**O**) waarneemt.

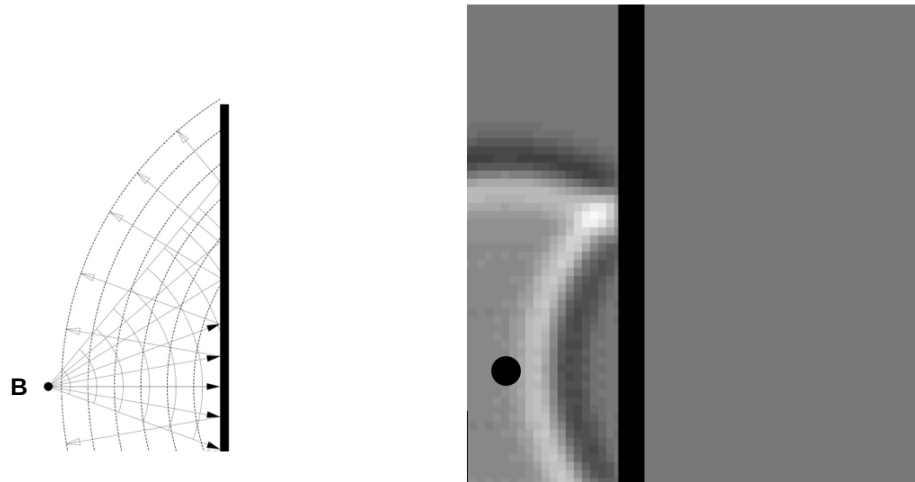
De geluidbeperkende efficiëntie van een obstakel (bijvoorbeeld een geluidsscherf) is het verschil tussen het voortgeplante geluid zonder obstakel (zogenoemde vrij-veldvoortplanting) en het voortgeplante geluid met obstakel.

Hierna worden de verschijnselen **reflectie**, **diffractie** en **overdracht** toegelicht uit het oogpunt van de voortplanting van wegverkeerslawaai en geluidbeperkende maatregelen die kunnen worden toegepast om de effecten op de omgeving te verminderen.

1.2.1 Geluidsreflectie

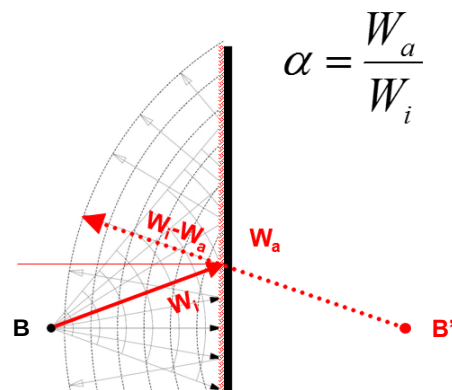
1.2.1.1 Enkelvoudige reflectie

Figuur 3 toont schematisch het effect van een golf die zich naar een obstakel voortplant en erop reflecteert.



Figuur 3 – Enkelvoudige reflectie op een obstakel

Zoals figuur 4 schematisch toont, zal een invallende straal die op een (geluids)reflecterende wand terechtkomt, reflecteren zoals beelden op een spiegel. Het is alsof een beeldbron **B'** symmetrisch aan de wand het van de straling overneemt en de gereflecteerde energie vanop de wand opnieuw vertrekt. Dit wordt speculaire reflectie genoemd. Elke invallende straal reflecteert speculair, dat wil zeggen de gereflecteerde straal vertrekt opnieuw aan de kant van de bron onder dezelfde hoek als waaronder ze op de wand is terechtgekomen.



Figuur 4 – Wet van speculaire reflectie: reflectiehoek = invalshoek

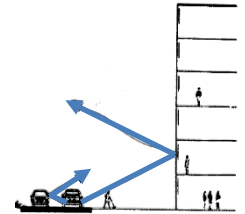
Op de wand kunnen (geluids)absorberende materialen worden aangebracht om de gereflecteerde energie (of de energie van de fictieve beeldbron **B'**) te verminderen. De mate waarin die energie wordt verminderd, hangt af van de geluidsabsorberende kenmerken van het toegepaste materiaal.

De geluidsabsorptiecoëfficiënt α is de verhouding tussen de gereflecteerde energie W_a en de invallende energie W_i (zie de formule op figuur 4). De geluidsabsorptiecoëfficiënt α van een geluidbeperkende constructie is één van de voornaamste intrinsieke kenmerken (of kenmerken eigen aan een product). De kenmerking van de geluidsabsorptie van geluidbeperkende constructies wordt onder 11.3.3 uitgelegd.

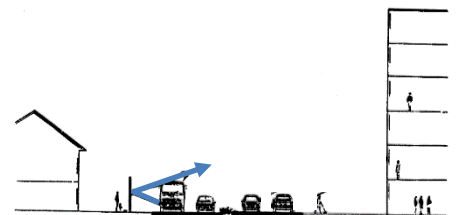
In de praktijk verandert reflectie de richting van geluidsenergie in de omgeving. Daardoor kan geluid in gevoelige zones sterker toenemen (tot + 3 dB(A)) dan wanneer zich geen reflectie voordoet.

Op figuur 5 zijn voorbeelden van enkelvoudige reflectie schematisch weergegeven.

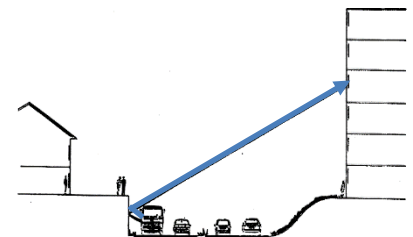
- Op woningen (moeilijk te behandelen: gevels dienen te worden aangepast, enz.).



- Op geluidsschermen.



- Op keermuren.

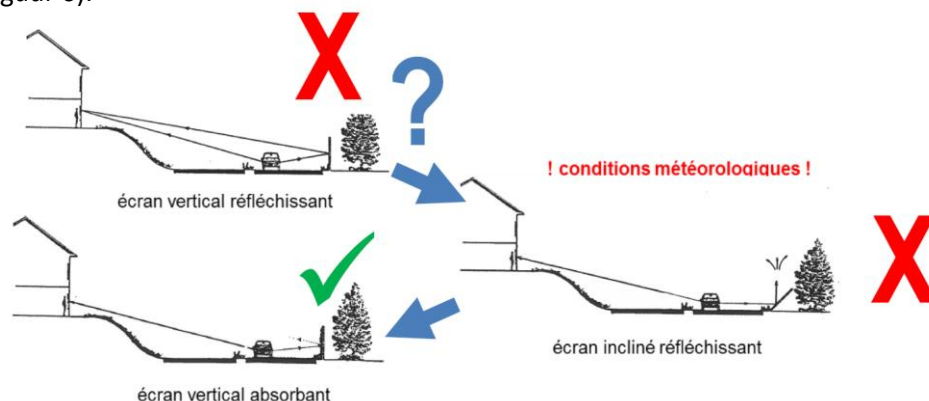


Figuur 5 – Voorbeelden van enkelvoudige reflectie in een stedelijke omgeving

Om in de twee laatste gevallen het effect van reflectie te verminderen, wordt aanbevolen (geluids)absorberende wandbekledingen toe te passen. Aan de kant waar reflectie optreedt, kan het totale geluidsniveau met 3 dB(A) worden verminderd.

Om gereflecteerde golven naar boven te sturen, worden soms schuine (geluids)reflecterende schermen of wanden toegepast. Het beoogde effect wordt echter niet altijd bereikt: door weersomstandigheden kan de aldus gereflecteerde energie in een andere richting wordt gestuurd.

Bij toepassing van (geluids)absorberende wandbekledingen wordt deze energie echter meteen geabsorbeerd. Ze verdienen dan ook de voorkeur boven schuine (geluids)reflecterende schermen of wanden (figuur 6).

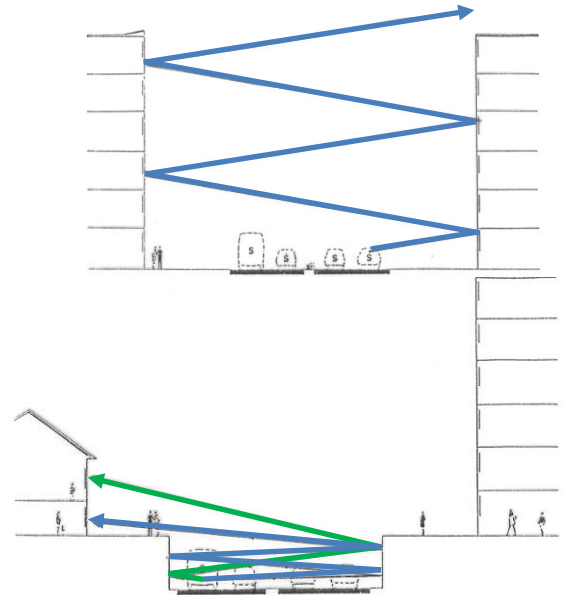


Figuur 6 – Schuine reflecterende schermen en wanden absorberen invallende golven niet!

1.2.1.2 Meervoudige reflectie

Meervoudige reflectie treedt op wanneer twee (geluids)reflecterende schermen tegenover elkaar staan. Dit creëert een zeer ongunstige situatie omdat de geluidsgolven voortdurend tussen de twee schermen worden gereflecteerd (pingpongbaleffect). Op figuur 7 zijn voorbeelden van meervoudige reflectie in een stedelijke omgeving schematisch weergegeven.

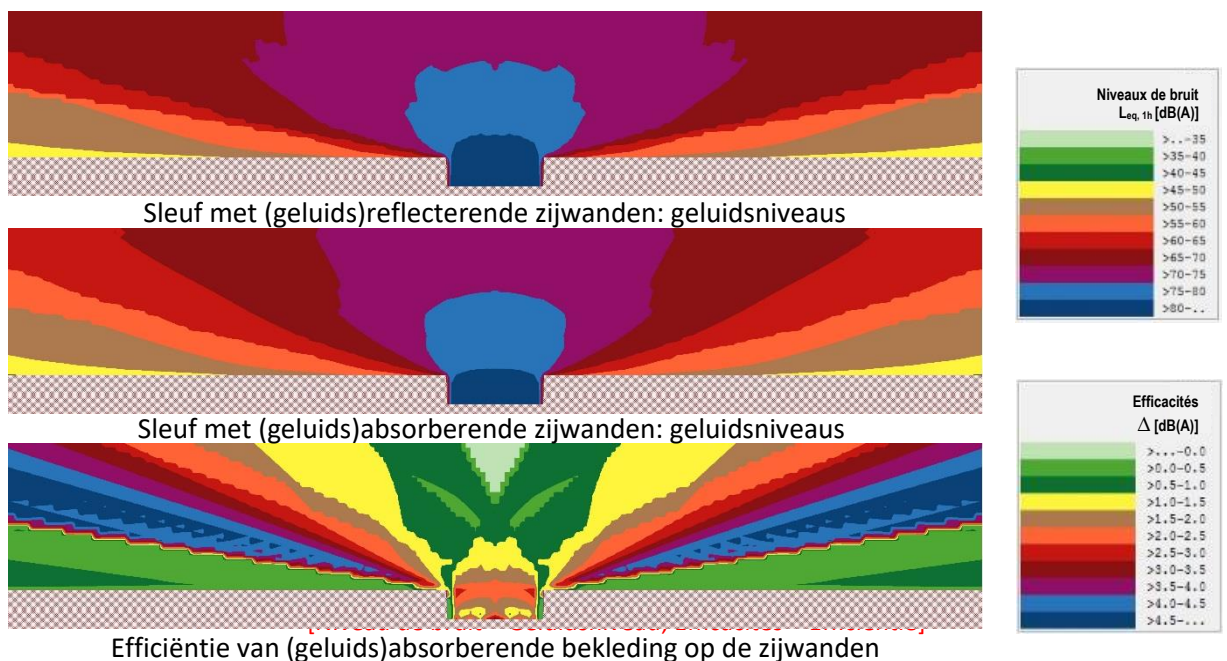
- Op woningen (moeilijk te behandelen: gevels dienen te worden aangepast, enz.).
- Op evenwijdige geluidsschermen.
- Op evenwijdige keermuren, open sleuven, tunnelmonden.



Figuur 7 – Voorbeelden van meervoudige reflectie in een stedelijke omgeving

Om in de twee laatste gevallen meervoudige reflectie te verminderen, wordt aanbevolen (geluids)absorberende wandbekledingen toe te passen. Aan de kant waar meervoudige reflectie optreedt, kan het totale geluidsniveau met 3 dB(A) tot 8 dB(A) en meer worden verminderd.

Figuur 8 illustreert het effect van meervoudige reflectie voor een weg met tweemaal twee rijstroken in een 6 m diepe open sleuf, met respectievelijk (geluids)reflecterende of (geluids)absorberende wanden.



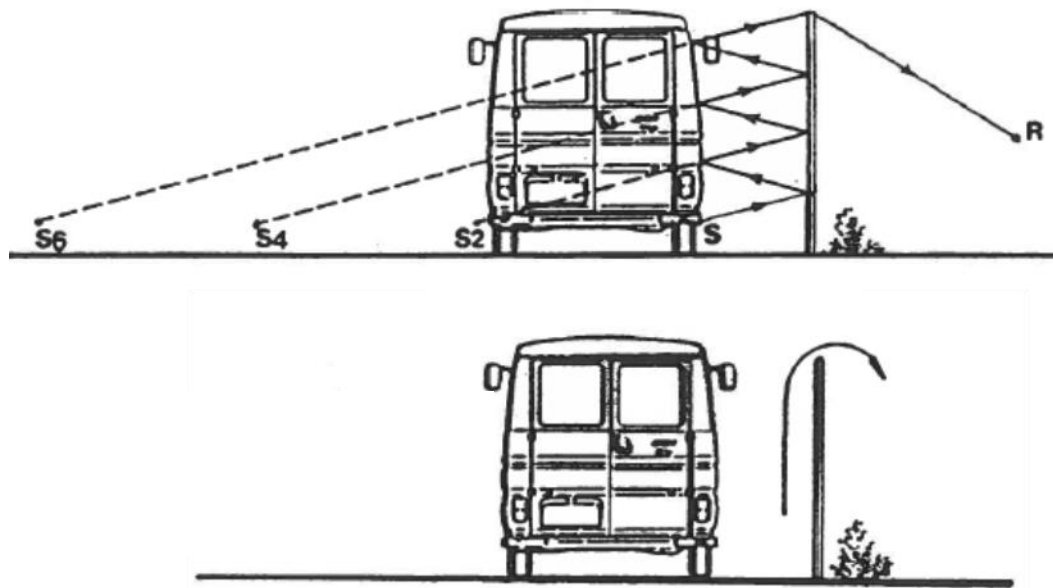
**Figuur 8 – Verticale geluidskaarten ter illustratie van het effect van meervoudige reflectie
(equivalent geluidsdrukniveau $L_{Aeq, 12h}$)**

1.2.1.3 Interactie met de voertuigcarrosserie

Meervoudige reflectie kan ook voorkomen tussen (geluids)reflecterende wanden en de carrosserie van voorbijrijdende voertuigen. Hoewel deze voertuigen ruwweg met puntgeluidsbronnen kunnen worden vergeleken, zijn het eigenlijk echte volumes die zich over de weg verplaatsen en waarvan de wanden (carrosserie van de voertuigen) ook (geluids)reflecterend zijn.

Als gevolg daarvan treedt interactie op tussen de (geluids)reflecterende wanden en de voertuigen wanneer deze zich tegenover elkaar bevinden. Er treedt dan ook meervoudige reflectie op, maar met een zeer bijzondere tijdsdimensie (de effecten verplaatsen zich mee met het voertuig terwijl het over de weg rijdt).

Op figuur 9 is dit effect schematisch weergegeven.



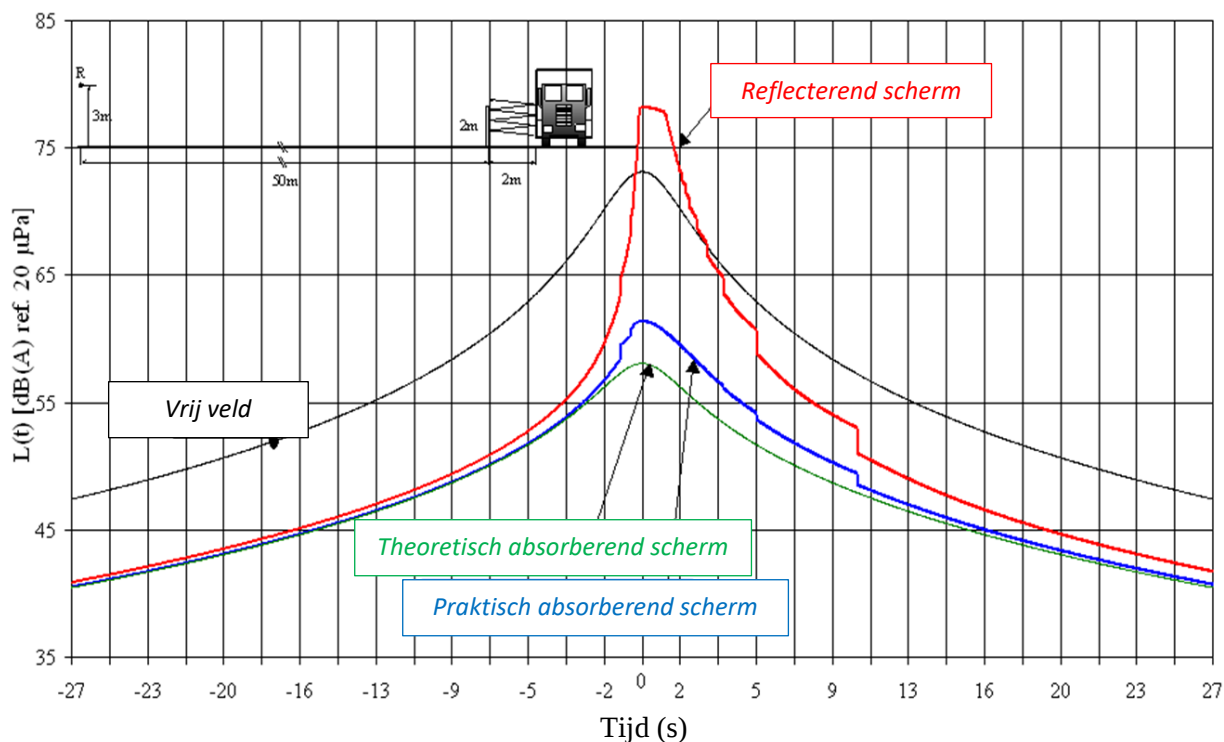
Figuur 9 – Interactie tussen een bestelwagen en een (geluids)reflecterende wand (alsof de geluidsbron kunstmatig wordt verhoogd)

Door deze kunstmatige verhoging van de geluidsbron doet de interactie het afschermend effect van obstakels tussen voertuigen en de omgeving afnemen. Hoe hoger en langer de voertuigen (fictieve verhoging van de geluidsbron en langere duur van het effect), hoe meer het afschermend effect afneemt. De hoogste en langste voertuigen op de weg zijn jammer genoeg vrachtwagens en zij brengen bovendien het meeste geluid voort.

Om het effect van interactie (meervoudige reflectie) te verminderen, wordt aanbevolen (geluids)absorberende wandbekledingen toe te passen. De efficiëntie hangt echter af van de verplaatsing van het voertuig.

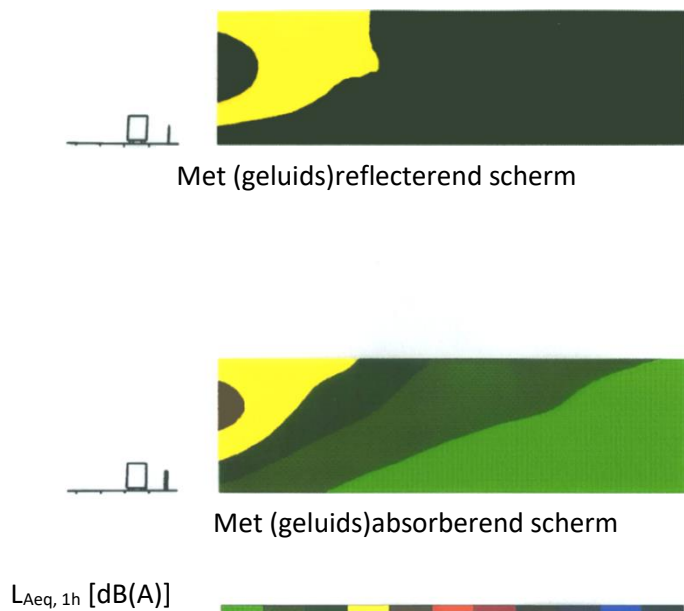
Figuur 10 toont het verloop in de tijd van het geluidsniveau bij de doortocht van een 4 m hoge vrachtwagen **zonder obstakel (vrij-veldsituatie)**, **met (geluids)reflecterend scherm** en **met (geluids)absorberend scherm**. De grafiek illustreert duidelijk de ruimte-tijdsdimensie van de interactie. Ze toont ook het nut van een (geluids)absorberend scherm aan. Een (geluids)reflecterend scherm maakt het mogelijk het geluid tijdens de volledige doortocht van de vrachtwagen effectief te verminderen, maar kan er ook toe leiden dat het toeneemt (ten opzichte van de vrij-veldsituatie zonder scherm) als de interactie het sterkst is.

Een scherm dat in ongunstige omstandigheden het bestaande geluidsniveau verhoogt, is echter ondenkbaar en zinloos. Met uitzondering van transparante en dus (geluids)reflecterende schermen, bestaan de meeste geluidsschermen dan ook uit (geluids)absorberend materiaal.



Figuur 10 – Verloop in de tijd van het geluid bij de doortocht van een vrachtwagen, zonder en met scherm

Figuur 11 toont de verticale geluidskaarten in dezelfde omstandigheden als in het voorgaande voorbeeld, met een (geluids)reflecterend en een (geluids)absorberend scherm. De schaduwzone is duidelijker rechter, wat in equivalent geluidsniveau (hier: $L_{Aeq, 1h}$ voor fictief verkeer van één vrachtwagen per uur met een snelheid van 100 km/h) op een efficiëntere afscherming door het scherm wijst.



Figuur 11 – Verticale geluidskaart van het equivalent geluidsniveau $L_{Aeq, 1h}$ (1 vrachtwagen/h, snelheid 100 km/h)

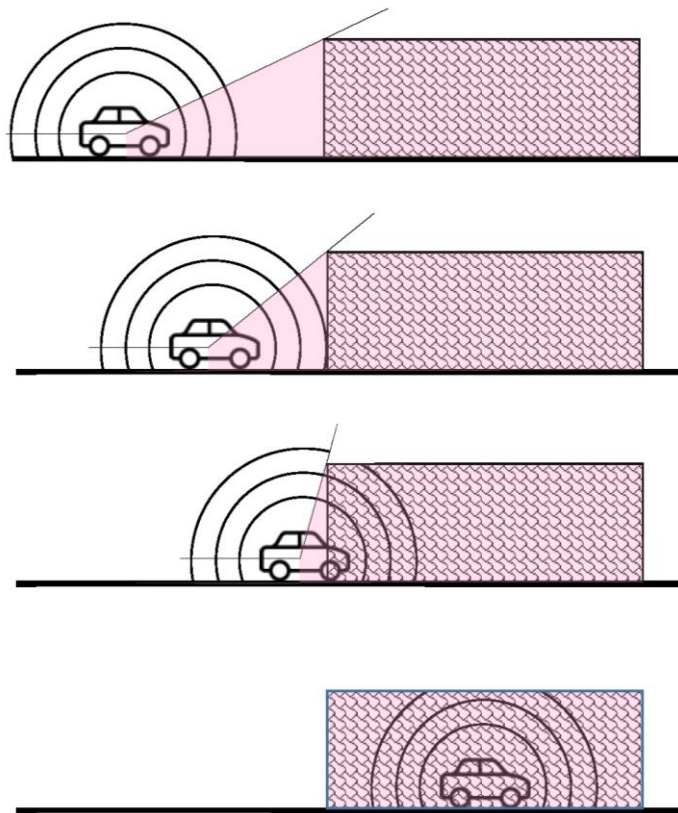
1.2.1.4 Meervoudige reflectie: tunnels

Hoe veelvuldiger de reflectie, hoe groter de hinder voor de omgeving.

Meervoudige reflectie is het sterkst in tunnels. Tunnels bestaan uit tweemaal twee evenwijdige en doorgaans (geluids)reflecterende wanden (twee zijwanden, grond en plafond). Golven worden er voortdurend gereflecteerd en kunnen zich niet verspreiden.

Figuur 12 illustreert de voortbeweging van een voertuig naar en in een tunnel:

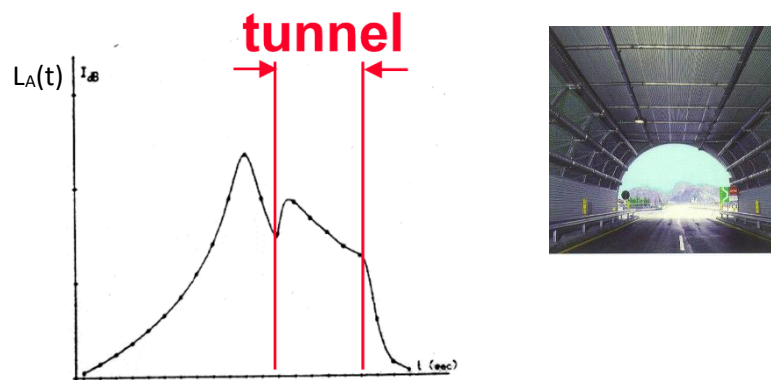
- als het voertuig zich ver genoeg van de tunnel bevindt, komt haast niets van de uitgewaaierde geluidsenergie in de tunnel terecht;
- geleidelijk en totdat het voertuig zich volledig in de tunnel bevindt, waaiert een steeds groter gedeelte van de energie naar de tunnel en een steeds kleiner gedeelte naar buiten uit;
- op de tunnelmonden na, is de tunnel volledig gesloten en wordt het geluid van het voertuig dat zich in de tunnel voortbeweegt oneindig gereflecteerd (net zoals beelden in een ruimte met vier spiegelwanden). Dit is meervoudige reflectie.



**Figuur 12 – Voortbeweging van een voertuig dat een tunnel inrijdt:
de tunnel vangt steeds meer energie op en zendt die naar de uiteinden**

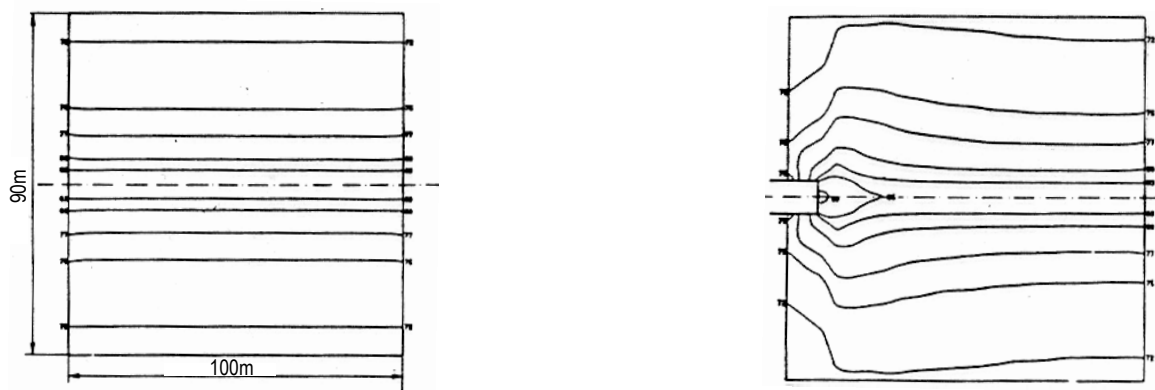
Op figuur 13 is het verloop in de tijd van het geluidsniveau bij de doortocht van een voertuig aan een tunnelmond weergegeven (zonder toegangssleuf om het tunneleffect goed te doen uitkomen):

- tijdens het naderen en totdat het voertuig zich ter hoogte van het ontvangtpunt (dit is het punt waar het geluidsniveau wordt berekend) bevindt, neemt het geluidsniveau geleidelijk toe;
- van zodra het voertuig voorbij het ontvangtpunt is, daalt het geluidsniveau;
- van bij het inrijden in de tunnel en zolang het voertuig zich in de tunnel bevindt, wordt de energie naar buiten uitgewaaierd. Hierdoor stijgt het geluidsniveau in het ontvangtpunt.



Figuur 13 – Verloop in de tijd van het geluidsniveau $L_A(t)$ bij de doortocht van een voertuig aan een tunnelmond

Figuur 14 illustreert met behulp van geluidsniveaukaarten $L_{Aeq, 1h}$ het *tunneleffect* bij continu verkeer voor dezelfde weg met en zonder tunnel. Het logische reducerend effect in het gesloten tunnelgedeelte is duidelijk zichtbaar. Aan de tunnelmond is het tunneleffect zeer uitgesproken.



Figuur 14 – Verticale geluidskaarten voor het equivalent geluidsniveau $L_{Aeq, 1h}$ met (links) en zonder tunnel (rechts)

Bij druk verkeer moet het aanhoudende geluidsniveau aan de tunnelmond worden opgeteld bij het geluid van alle andere voertuigen. Het tunneleffect wordt echter gedeeltelijk gemaskeerd door het verkeer buiten de tunnel. 's Nachts passeren er minder voertuigen en volgen ze minder snel op elkaar, waardoor het aanhoudende geluidsniveau meer geluidshinder kan veroorzaken. Als de voertuigen zich even ver van elkaar bevinden als de tunnel lang is, zou het lijken alsof het geluid haast onafgebroken hoorbaar is.

Dit aanhoudende geluid veroorzaakt vooral 's nachts geluidshinder. Het kan de slaapfasen verstoren en zelfs mensen wakker maken. Een goed voorbeeld hiervan is de doortocht van een luidruchtige motor 's nachts in een tunnel van bijvoorbeeld 300 m lang.

Net zoals in de eerder beschreven gevallen van reflectie wordt aanbevolen (geluids)absorberende wandbekledingen toe te passen. Doorgaans worden de zijwanden en het plafond van de tunnel over een bepaalde lengte (ongeveer 50 m, naargelang van de kokerbreedte) behandeld, om een geluidbeperkend effect ten opzichte van de rest van de tunnel te verkrijgen. Met een dergelijke behandeling kan het geluid dat vanuit de tunnel naar buiten uitwaaiert met meer dan 10 dB(A) worden verminderd. In de tunnel kan in de behandelde zone een geluidbeperkend effect van meer dan 12 dB(A) worden bereikt, terwijl het buiten de behandelde zone logischerwijze wegvalt.

In het Brusselse Hoofdstedelijk Gewest zijn de wanden van heel wat tunnels met (geluids)absorberend materiaal bekleed. Bij de doortocht in die tunnels is het geluidbeperkend effect duidelijk merkbaar.

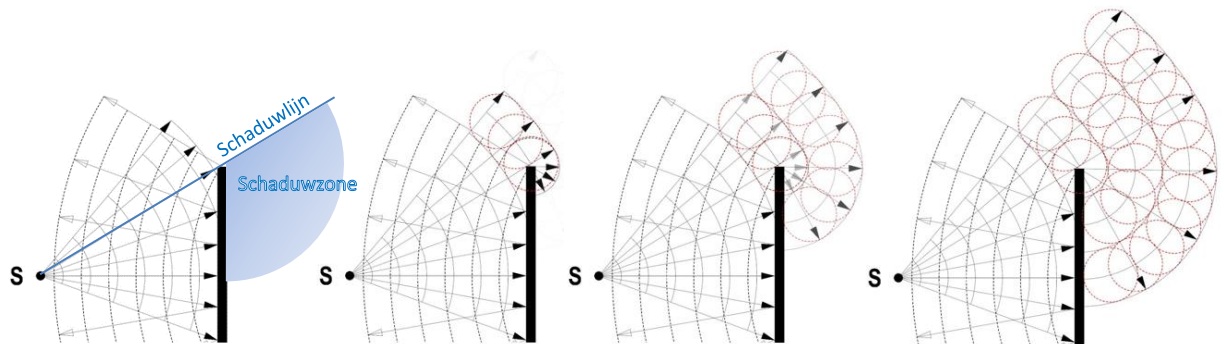
1.2.2 Geluidsdiffractie

1.2.2.1 *Fysisch verschijnsel*

Als men een obstakel voor een lichtbron plaatst, ontstaat een schaduwzone. Als men tussen een geluidsbron en onze oren een obstakel plaatst, blijven we het geluid echter horen (tenzij we een geluidwerende helm opzetten). De energie diffracteert op de randen van het obstakel en plant zich achter het obstakel voort. Dat wordt **diffractie** (verstrooiing) genoemd.

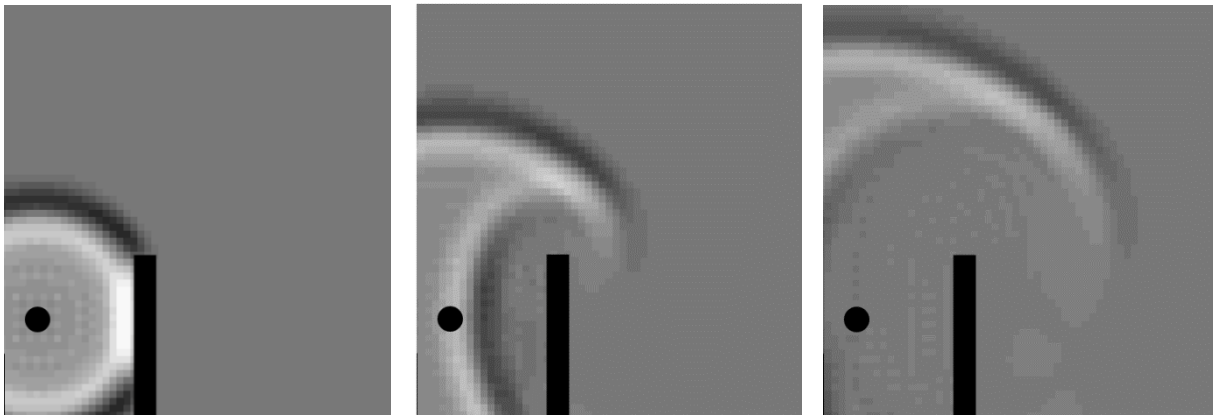
Dit verschijnsel is hetzelfde in de optica en de akoestiek. Optische golflengten zijn echter veel korter dan akoestische golflengten. Optische golflengten zijn 300 nm tot 800 nm lang (1 nanometer is gelijk aan een miljoenste van een meter). Akoestische golflengten zijn 17 mm (20 000 Hz, hoge frequenties) tot 17 m (20 Hz, lage frequenties) lang. Omdat voor de langere akoestische golven obstakels verhoudingsgewijs kleiner zijn, kunnen zij deze gemakkelijker “omzeilen” dan optische golven die soms een miljoen maal kleiner zijn.

Figuur 15 illustreert het diffractieverschijnsel volgens het **principe van Huygens-Fresnel**. Volgens dit principe kan een **golffront** dat vanuit een golfbron wordt opgewekt, in een reeks van nieuwe secundaire bronnen uiteenvallen die op hun beurt uitwaaiëren en een volgend golffront vormen. Zo wordt duidelijk waarom een golffront van dezelfde orde van grootte als een geluidsscherm (enkele m) over de top van het scherm geraakt en de zogenoemde **schaduwzone** bereikt. De schaduwzone is de zone onder de **schaduwlijn** of de lijn die de geluidsbron met de top van het scherm verbindt. Boven deze zone ziet men meteen de bron, onder deze zone bevindt men zich in de schaduwzone van het scherm.



Figuur 15 – Voortplanting van een golffront op een obstakel (principe van Huygens-Fresnel)

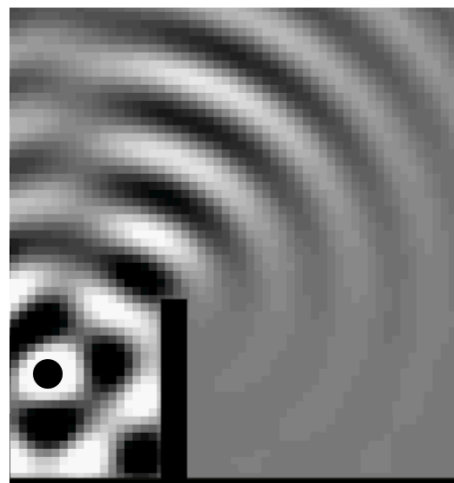
Figuur 16 suggereert deze voortbeweging, met een gereflecteerde golf aan de kant van de geluidsbron. Zo is duidelijk zichtbaar dat de golf zich naar de andere kant van het scherm voortplant, terwijl ze geleidelijk afzwakt.



Figuur 16 – Voortplanting van een golffront op een reflecterend oppervlak

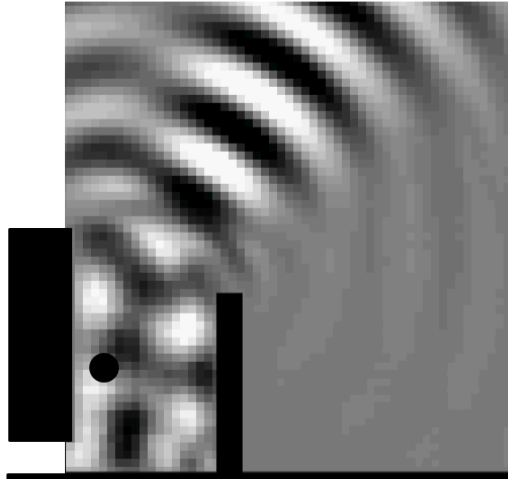
In dit vereenvoudigde voorbeeld van diffractie komen slechts één front en één reflectie op het obstakel voor. In de werkelijkheid houden de voertuigen op de weg (het geluid) de golven voortdurend in stand en aan weerszijden van het obstakel (bijvoorbeeld een geluidsscherm) bevindt zich het terrein.

Figuur 17 suggereert een voortbeweging die beter met de werkelijkheid overeenstemt. Er is echter nog geen rekening gehouden met de mogelijke interactie met de voertuigcarrosserie.



Figuur 17 – Voortplanting van onderhouden golven op een reflecterend obstakel, met reflectie op de grond

Op figuur 18 is wel rekening gehouden met deze interactie. Deze figuur illustreert overigens de hogerop beschreven interactie tussen voertuigen en schermen.



Figuur 18 – Voortplanting van onderhouden golven op een reflecterend scherm, met vrachtwagen-scherminteractie

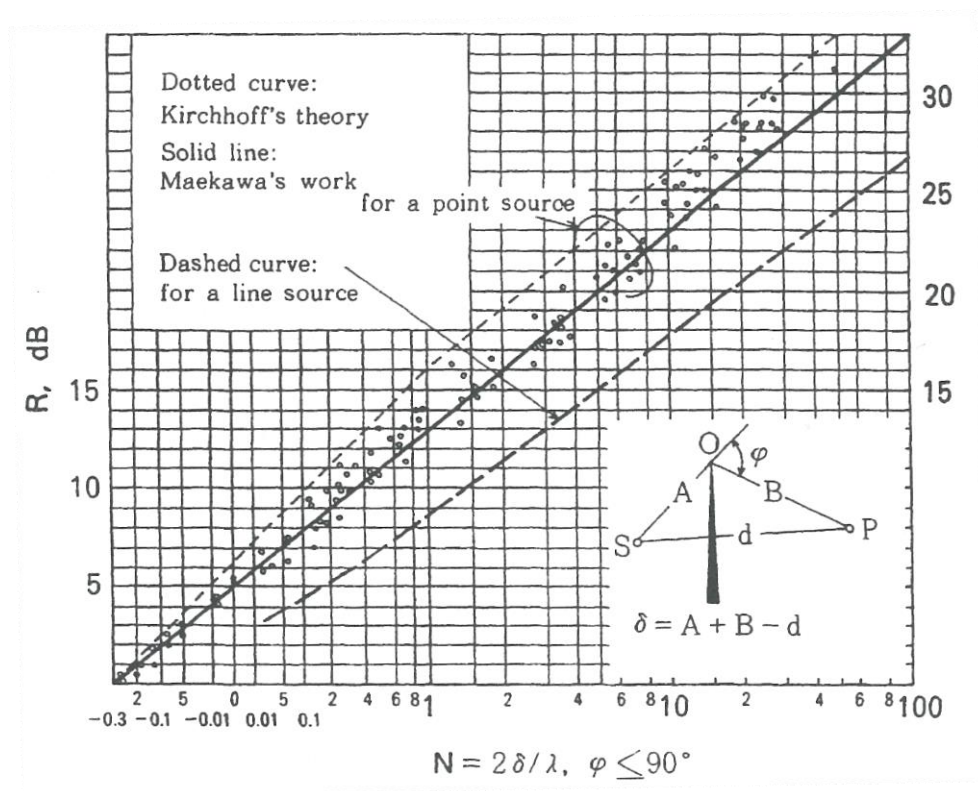
1.2.2.2 Hoe de prestaties van geluidsschermen berekenen?

Al in 1968 verrichtte **Z. Maekawa** experimenteel onderzoek naar **geluidsverzwakking bij geluidsschermen**. Hij werkte een diagram uit waarmee de efficiëntie van dergelijke constructies kan worden berekend (figuur 19). Daartoe wordt eerst het Fresnelgetal N bepaald.

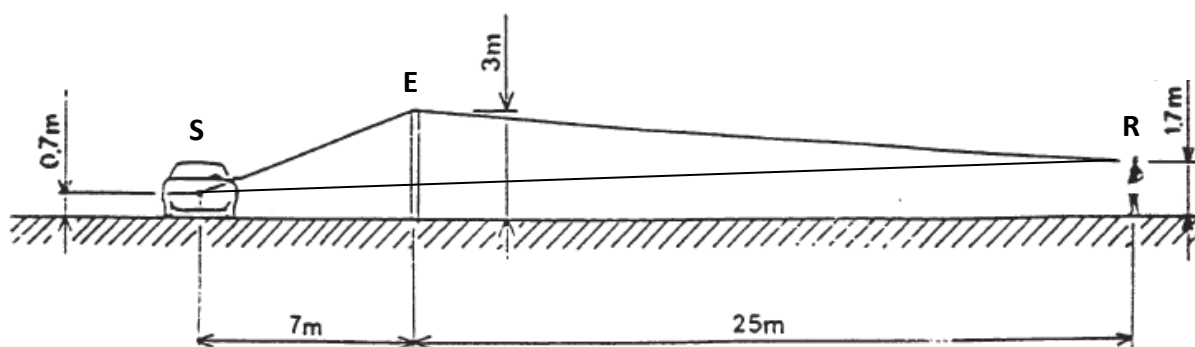
$$N = \frac{2 \delta}{\lambda}$$

δ = verschil tussen het traject van de geluidsgolf zonder en met scherm (in m).

λ = golflengte (in m).



Figuur 19 – Maekawa-diagram ter bepaling van de efficiëntie van geluidsschermen



Figuur 20 – Voorbeeld van vereenvoudigde berekening van de efficiëntie van een geluidsscherm

Op figuur 20 wordt een **vereenvoudigde efficiëntieberekening** schematisch weergegeven voor:

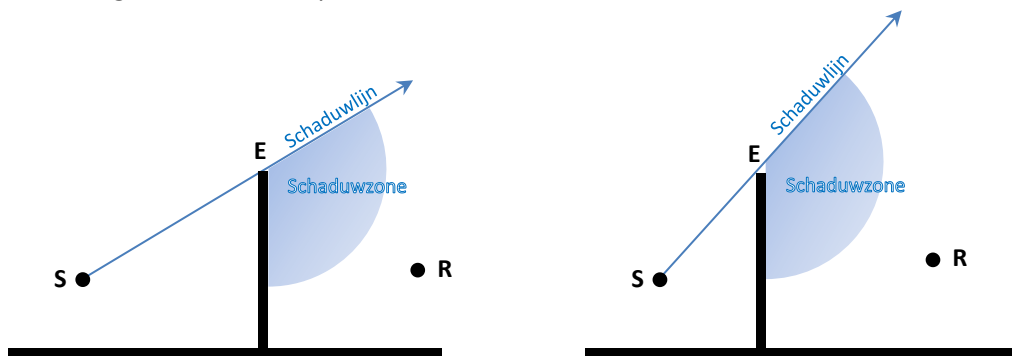
- een geluidsscherm van 3 m, zonder reflectie;
- een voertuig dat zich 7 m vóór het scherm bevindt;
- een hypothetische geluidsbron (zijnde het voertuig) die zich 0,7 m boven het wegoppervlak bevindt;
- een voetganger die zich 25 m achter het scherm bevindt.

Voor een frequentie van 1 000 Hz, een golflengte $\lambda = 0,34$ m en een trajectverschil $\delta = BS + SO - BO = 0,39$ m is het Fresnelgetal N in dit voorbeeld gelijk aan 2,3.

Als deze waarde in een Maekawa-diagram (figuur 19 hogerop) wordt uitgezet, wordt bij een frequentie van 1 000 Hz een efficiëntie van 16,5 dB bereikt.

Volgens het **standaardgeluidsspectrum** uit de NBN EN 1793-3 bedraagt de efficiëntie 14,5 dB(A).

1.2.2.3 Waar geluidsschermen plaatsen?

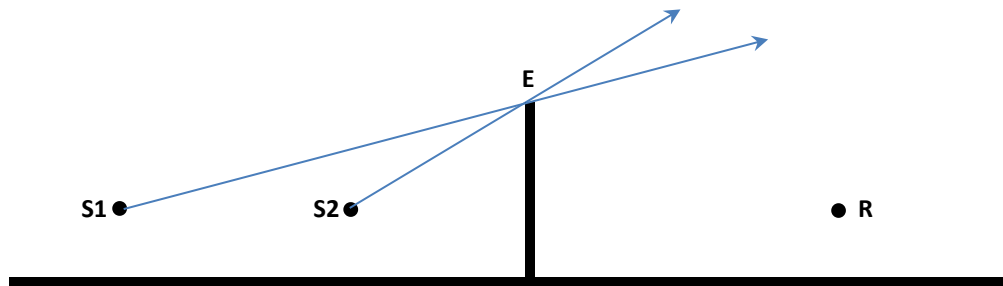


Figuur 21 – Hoe dichterbij de geluidsbron, hoe steiler de schaduwlijn en hoe efficiënter het geluidsscherm

Figuur 21 toont schematisch dat de **efficiëntie van een geluidsscherm toeneemt naarmate de schaduwlijn steiler is**. Een ontvanger O die dezelfde positie aanhoudt, bevindt zich inderdaad lager in de schaduwzone en is dus beter afgeschermd. Dat resulteert in een groter trajectverschil $\delta = BS + SO - BO$ en bijgevolg ook in een hoger Fresnelgetal N .

Een weg of een straat kan echter uit verschillende rijstroken bestaan, waarvan sommige zich dichterbij en andere verder van het geluidsscherm bevinden.

Op de verst gelegen rijstroken zijn de schaduwlijnen het minst steil en is het geluidbeperkend effect lager aan de andere zijde van het geluidsscherm (figuur 22).

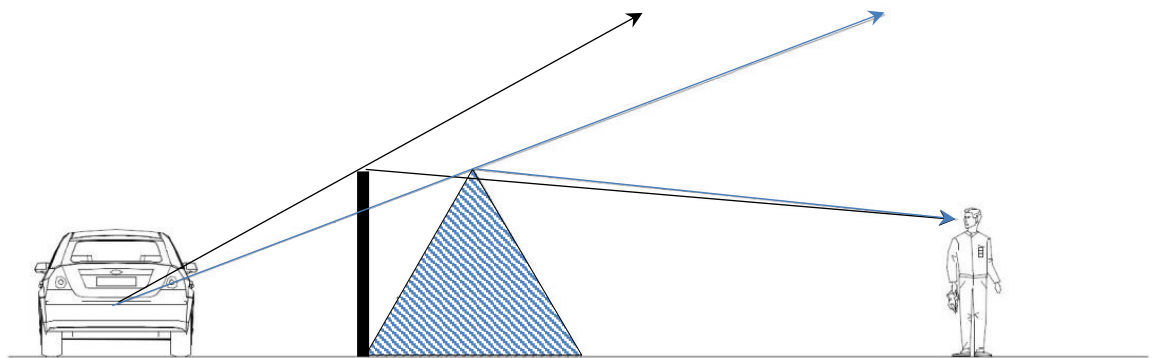


Figuur 22 – Lager geluidbeperkend effect van een geluidsscherm voor de verst gelegen geluidsbronnen

1.2.2.4 Aarden geluidswallen

Aarden geluidswallen zijn meestal begroeid en worden daarom uit esthetisch oogpunt vaak verkozen boven “klassieke” geluidsschermen.

Het **ingenomen grondoppervlak** is echter groter dan bij een klassiek geluidsscherm met dezelfde hoogte, met een minder steile schaduwlijn als gevolg (figuur 23).

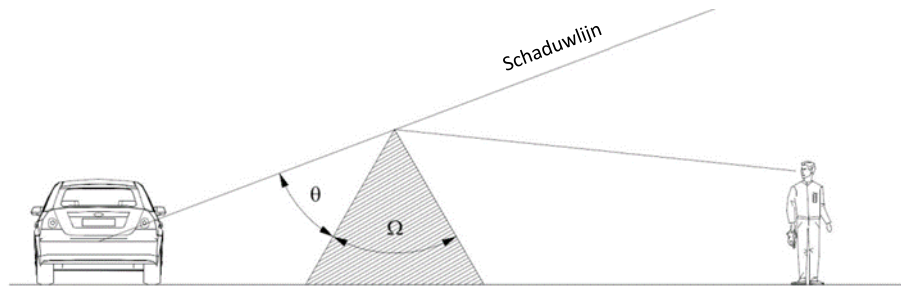


Figuur 23 – Aarden geluidswallen: groter ingenomen grondoppervlak, minder steile schaduwlijn, minder efficiënt

Daarnaast maken twee andere nadelen dat aarden geluidswallen minder efficiënt zijn om wegverkeerslawaaï te verminderen (figuur 24):

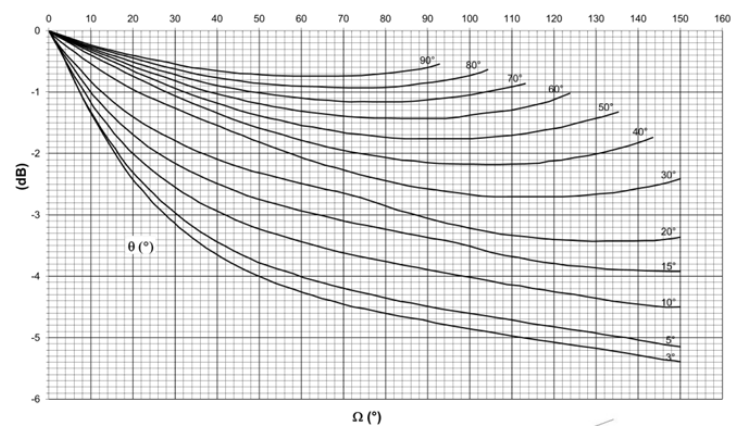
- **het golffront komt op het obstakel terecht met een helling die gemakkelijker kan worden overstegen** dan een recht geluidsscherm (een helling is makkelijker te beklimmen dan een rechte muur);
- **op de top waaiert de energie onder een kleinere hoek uit** dan bij een dun geluidsscherm: het geluidsdrukkniveau is er hoger.

Z. Maekawa heeft ook een diagram ontwikkeld om deze twee effecten te berekenen (figuur 25). Figuur 25 illustreert door kenmerking van de diffractierand dat de efficiëntie van een geluidsscherm afneemt als functie van de aanvalshoek van het golffront θ en de openingshoek Ω .



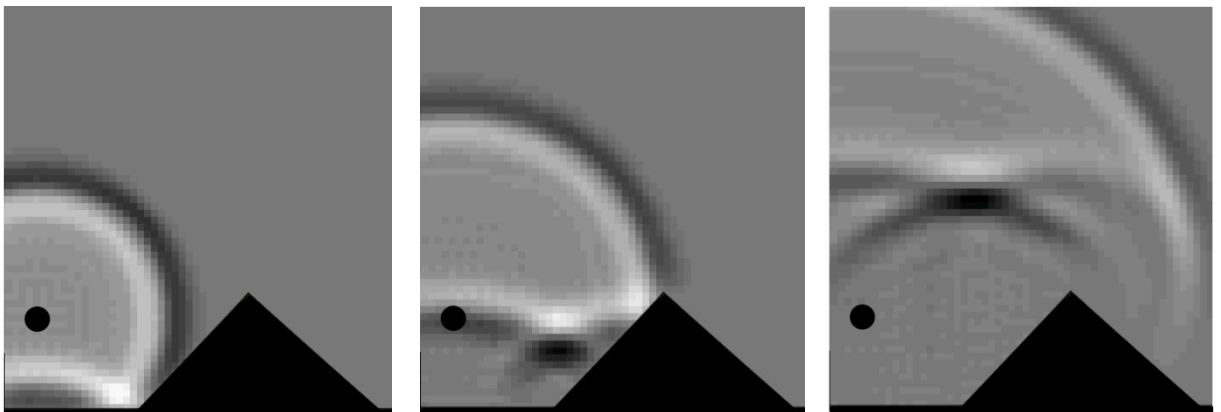
$\Omega = 0$: virtueel *dun* scherm

Figuur 24 – Aarden geluidswal: aanvalshoek van het golffront en volume van het obstakel



Figuur 25 – Maekawa-diagram: afname van de efficiëntie als functie van de hoeken θ en Ω

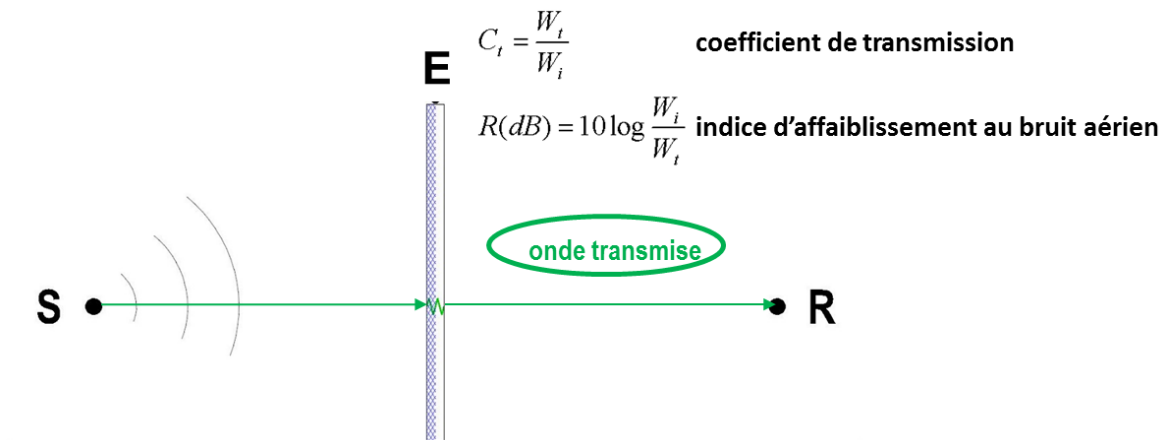
Bij de berekening van de prestaties van een aarden geluidswal dient steeds met dit effect rekening te worden gehouden. Figuur 26 suggereert de voortplanting van een golffront op een aarden geluidswal.



Figuur 26 – Voortplanting van een golffront op een aarden geluidswal

1.2.3 Geluidsoverdracht (door de lucht)

1.2.3.1 Fysisch verschijnsel



Figuur 27 – Geluidsoverdracht (door de lucht) van een geluidsscherm

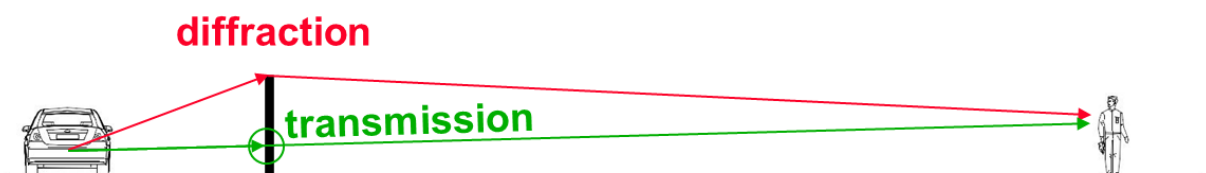
Figuur 27 illustreert schematisch het verschijnsel van de overdracht van een golf door de lucht (luchtgeluid)¹. Van de geluidsemissie door een bron **B** tot de ontvangst van het geluid door een ontvanger **O** worden de volgende fasen doorlopen:

- een bron zendt een geluidsgolf uit en deze golf plant zich voort naar een scherm;
- het golffront komt op het oppervlak van het geluidsscherm terecht. De *invallende* energie wordt gedeeltelijk naar de onbeschermd kant van het scherm (dit is de bronzijde) *gereflecteerd* volgens de geluidsabsorberende kenmerken van het scherm en gedeeltelijk *geabsorbeerd* (zie 11.2.1 hogerop);
- een ander deel van de invallende energie wordt *door* het geluidsscherm overgedragen en plant zich aan de andere zijde ervan voort. Dit wordt **geluidsoverdracht door de lucht** (of luchtgeluid) genoemd;

De prestatie van de weerstand tegen de overdracht van luchtgeluid van een scherm wordt gekenmerkt door de coëfficiënt van luchtgeluidsoverdracht C_t . Deze is verhouding tussen de doorgelaten energie W_t en de invallende energie W_i . In de praktijk wordt echter meestal de verzwakingsindex van luchtgeluid toegepast. Deze index drukt de energievermindering bij de doorgang door het scherm logaritmisch (in dB) uit.

- wanneer het golffront de kruin **S** van het geluidsscherm bereikt, diffracteert de golf en plant ze zich voort aan de andere zijde van het scherm (zie 11.2.2 hogerop).

Zoals op figuur 28 is weergegeven, is het **waargenomen geluid aan de beschermde kant van het scherm** gelijk aan de **som van de energie die door het scherm wordt overgedragen EN de energie die aan de top wordt gediffracteerd**.



¹ Overdracht van een golf door de lucht (luchtgeluid): benaming om deze overdracht te onderscheiden van contactgeluid. Contactgeluid treedt bijvoorbeeld op wanneer personen in een gebouw over een vloer stappen en het geluid van de stappen in de ruimte eronder te horen is. Ook de stemmen zijn daar te horen, maar dat geluid wordt overgedragen door de lucht.

Figuur 28 – Geluid achter het scherm = overgedragen energie + gediffracteerde energie

1.2.3.2 Doorgelaten energie beperken

Voor een optimale prestatie van het geluidsscherm is het dus belangrijk om de *doorgelaten energie* te beperken.

Algemeen kan worden gesteld dat wanneer geluidsniveaus A en B worden opgeteld, het resultaat van deze (logaritmische) optelling haast gelijk is aan geluidsniveau A als geluidsniveau B ongeveer 15 dB lager is dan niveau A.

Om het geluid dat door het geluidsscherm wordt overgedragen ten opzichte van het geluid dat over het scherm gaat (en dat niet te vermijden is) verwaarloosbaar klein te houden, wordt doorgaans de hiernavolgende vuistregel toegepast.

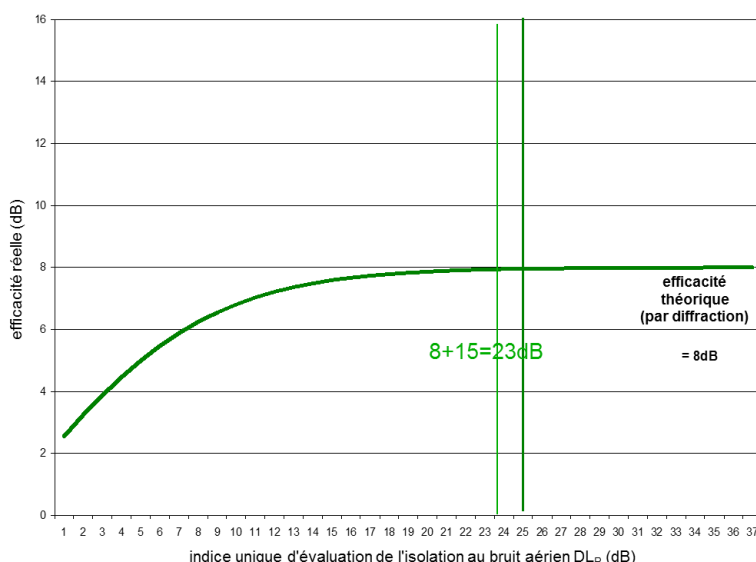
Het effect van de geluidsoverdracht is verwaarloosbaar als de unieke index voor de evaluatie van luchtgeluidsisolatie DL_R (in dB) van een scherm 15 dB hoger ligt dan de prestatie ΔL_{Aeq} (die theoretisch enkel door het diffractie-effect wordt bereikt).

$$DL_R > \Delta L_{Aeq} + 15 \text{ dB}$$

Zo is voor een klassiek geluidsscherm met een theoretische totale geluidsniveauvermindering van ongeveer 8 dB een verzwakkingsindex van luchtgeluid van meer dan 23 dB vereist (figuur 29).

Figuur 29 illustreert de werkelijke efficiëntie van een geluidsscherm met een theoretische prestatie van 8 dB (door middel van diffractie) als functie van de luchtgeluidsisolatie. Ze toont ook aan dat niet meer dan $DL_R = 23$ dB moet worden geëist. Bij een hogere waarde is de overgedragen energie voldoende verwaarloosbaar.

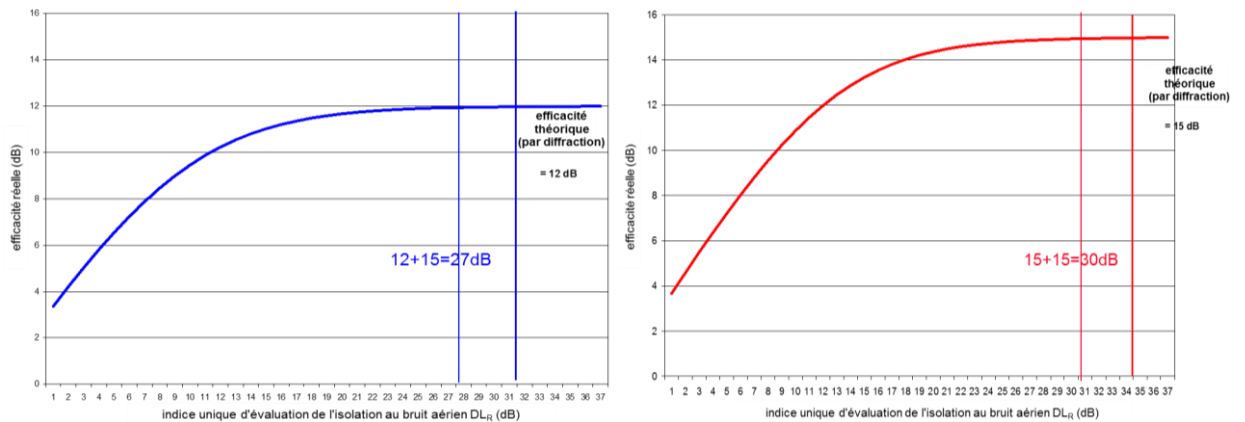
In het voorliggende voorbeeld presteert een geluidsscherm met $DL_R = 23$ dB even goed als een geluidsscherm met $DL_R = 50$ dB.



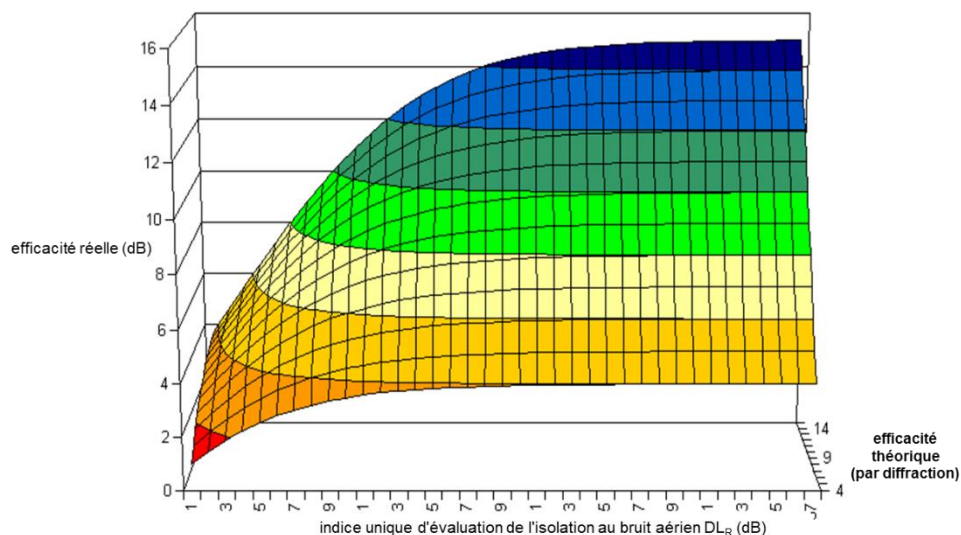
Figuur 29 – Beperkend effect van de geluidsoverdracht als functie van de luchtgeluidsisolatieprestatie van een scherm

Figuur 30 illustreert de werkelijke efficiëntie van een geluidsscherm met een theoretische prestatie van respectievelijk 12 dB en 15 dB (door middel van diffractie) als functie van de luchtgeluidsisolatie.

Figuur 31 illustreert het beperkend effect van de geluidsoverdracht op de prestatie van een geluidsscherm voor theoretische prestaties van 1 dB tot 15 dB (meest voorkomende waarden langs wegen).



Figuur 30 – Beperkend effect van de geluidsoverdracht als functie van de luchtgeluidsisolatieprestatie van een scherm



Figuur 31 – Beperkend effect van de geluidsoverdracht als functie de luchtgeluidsisolatieprestatie van een scherm

Belangrijke opmerking

Aan te stippen valt dat geluidsoverdracht een ruimte- en tijdsverschijnsel is dat bij elke doortocht van een voertuig voor het geluidsscherm optreedt. De geluidsniveaus zijn echter het hoogst wanneer een voertuig zich net voor een ontvanger zonder scherm bevindt, terwijl ook de prestatie van het scherm daar het hoogst is (het schermeffect is er groter omdat de schaduwzone er steiler is). Om de prestaties op het vlak van luchtgeluidsisolatie te bepalen, is het dus wenselijk de onmiddellijke geluidsniveaus $L_A(t)$ of, beter nog, ΔL_{Amax} in plaats van ΔL_{Aeq} te beschouwen.

1.2.3.3 Hoog presterende voorzieningen

Om dezelfde redenen dienen hogere prestaties op het vlak van luchtgeluidsisolatie te worden geëist voor hoog presterende voorzieningen zoals hoge geluidsschermen, gedeeltelijke of volledige overkapping en zelfs intunneling.

1.2.3.4 Bijzondere gevallen die de geluidsisolatieprestaties beïnvloeden

Onder 11.3.1.1 is op figuur 33 het mogelijke effect van geluidsslekken in schermen weergegeven. Hiermee dient bij het ontwerp van geluidsschermen rekening te worden gehouden.

Plaatselijke geluidsslekken

Geluidsslekken kunnen soms het gevolg zijn van onvolkomenheden in het ontwerp en/of de afdichting van de assemblage. Ze kunnen onmiddellijk na de plaatsing of na verloop van tijd optreden. Het effect kan variëren van “verwaarloosbaar” (zeer kleine lekken van vaak minder dan 1 cm in schermen met “klassieke” prestaties) tot “zeer groot” (soms fijne lekken, maar van orde van grootte van 1 m, of de afmetingen van de elementen, in schermen die zonder deze lekken zeer hoog zouden moeten presteren).

Bij het ontwerp dient steeds naar duurzame afdichting te worden gestreefd.

Drainageconstructies

Soms zijn openingen noodzakelijk om de drainage te garanderen. Omdat dergelijke *openingen* ook plaatselijke geluidsslekken veroorzaken, mogen ze *niet groter zijn dan 5 cm*.

Faunadoorgang

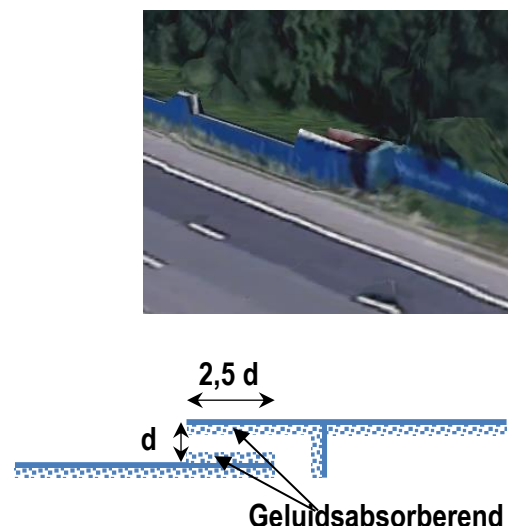
Een faunadoorgang is een opening voor de passage van kleine dieren. Aanbevolen wordt ze zo ver mogelijk van de gevoeligste zones aan te brengen en geluidbeperkende constructies toe te passen, naargelang van de afmetingen.

Doorgang voor personen

Als een doorgang voor personen noodzakelijk is, dient deze zo te worden aangebracht dat geluidsslekken zoveel mogelijk worden beperkt. Tot voor enkele jaren werd dan een deur geplaatst, opgebouwd uit schermelementen en voorzien van een automatische deursluis. Een dergelijke deur vormt echter steeds een zwakke plek in het geluidsscherm. Ze is niet alleen zwaar en weinig duurzaam, de automatische deursluis geraakt ook snel defect. Sommige deuren dienden zelfs te worden afgesloten wegens te gevaarlijk.

Om deze nadelen te ondervangen en toch een goede doorgang en akoestische prestatie te garanderen, wordt doorgaans een sas (overlapping) aangebracht om een geluidbeperkend effect te verkrijgen. De wanden van deze constructie dienen geluidsabsorberend te zijn, om de voortplanting van de golven af te remmen.

Figuur 32 toont een voorbeeld van een doorgang voor personen naast de autosnelweg E42 in Fleurus.



Figuur 32 – Geluidsabsorberend sas voor de doorgang van personen naast de E42 in Fleurus (bron: *Google Streetview*®)

1.2.3.5 Hoe goede geluidsisolatie realiseren?

Om de overdracht van een geluidsgolf te beperken, moeten materialen een bepaalde massa bezitten. Hoe zwaarder het materiaal, hoe beter het isoleert. Deze voorwaarde is echter *noch noodzakelijk, noch voldoende om goede isolatie te garanderen*. Het is inderdaad zo:

- dat **composietmaterialen** met goede geluidbeperkende kenmerken **haast evenwaardige isolatieprestaties kunnen bereiken als zwaardere monolithische materialen**;
- dat **zich ongeacht de massa in elk scherm geluidstekken kunnen voordoen** (in de aansluiting tussen panelen, met de pijlers, enz.), **waardoor de totale isolatieprestatie afneemt**;
- dat:
 - **een toereikende isolatieprestatie nodig is** om ervoor te zorgen dat de overgedragen golf verwaarloosbaar is;
 - **meer isolatie overbodig is van zodra een toereikende geluidsisolatieprestatie bereikt is**.Het een en ander is duidelijk geïllustreerd op de figuren 29 tot 31 hogerop.

Bij de bepaling van de geluidsisolatieprestaties van een scherm dienen de behoeften goed gekend te zijn en mag men zich niet door de hiernavolgende gangbare opvattingen laten beïnvloeden.

- *Een voldoende zwaar scherm heeft geen certificaat dat de isolatieprestaties aantoont.*
Dit is FOUT! Bij de plaatsing van een dergelijk scherm kunnen talrijke **geluidstekken** optreden.
- *Hoe hoger de geluidsisolatieprestatie van een scherm, hoe efficiënter de werking op het terrein.*
Dit is FOUT! De **juiste geluidsisolatieprestatie is noodzakelijk én volstaat** om een overgedragen golf met een verwaarloosbaar effect op de totale efficiëntie van het scherm te verkrijgen. Deze efficiëntie wordt overigens hoofdzakelijk bereikt door diffractie en niet door overdracht.

Ten slotte valt nog aan te stippen dat met nieuwe normen en meetmethoden de werkelijke geluidsisolatieprestaties op het terrein kunnen worden beoordeeld.

1.3. Factoren die de afname van wegverkeerslawaaï tijdens de voortplanting beïnvloeden

Factoren die de afname van wegverkeerslawaaï tijdens de voortplanting beïnvloeden, in het bijzonder bij gebruik van obstakels zoals geluidsschermen of absorberende wandbekledingen, kunnen zijn:

- de **afmetingen**:
 - de hoogte, de lengte, het volume;
 - de relatieve positie tussen voertuigen en ontvangers in de omgeving, de topografie, het profiel van de infrastructuur;
 - het frequentie- en tijdsdomein;
- de **vorm** van de objecten:
 - van de voertuigen (personenwagens, vrachtwagens, enz.);
 - van de schermen (vlak en recht, vlak en schuin, niet-vlak, omvangrijk, met extra voorzieningen, enz.);
- de **intrinsieke kenmerken** van de constructies:
 - absorptie, overdracht, diffractie.

Al deze factoren bepalen SAMEN de totale efficiëntie van de toegepaste geluidbeperkende constructies tegen de voortplanting van wegverkeerslawaaï. In de hiernavolgende paragrafen wordt uitgebreid op deze factoren ingegaan.

1.3.1 Afmetingen

1.3.1.1 *Hoogte – Lengte - Volume*

Hoogte

Zoals vermeld onder 11.2.2, wordt de efficiëntie van een geluidsscherm voornamelijk bepaald door het fysische verschijnsel van diffractie. **Hoe hoger het scherm**, hoe steiler de schaduwlijn en **hoe efficiënter het scherm** (figuur 21).

Om praktische, financiële, esthetische of veiligheidsredenen kan de hoogte van een scherm echter moeten worden beperkt. In dit geval moet worden overwogen een ander soort van scherm met hogere prestaties toe te passen of andere maatregelen te nemen (bijvoorbeeld toepassen van gevel- of andere isolatie voor de hogere verdiepingen van gebouwen die niet voldoende zijn afgeschermd).

Lengte

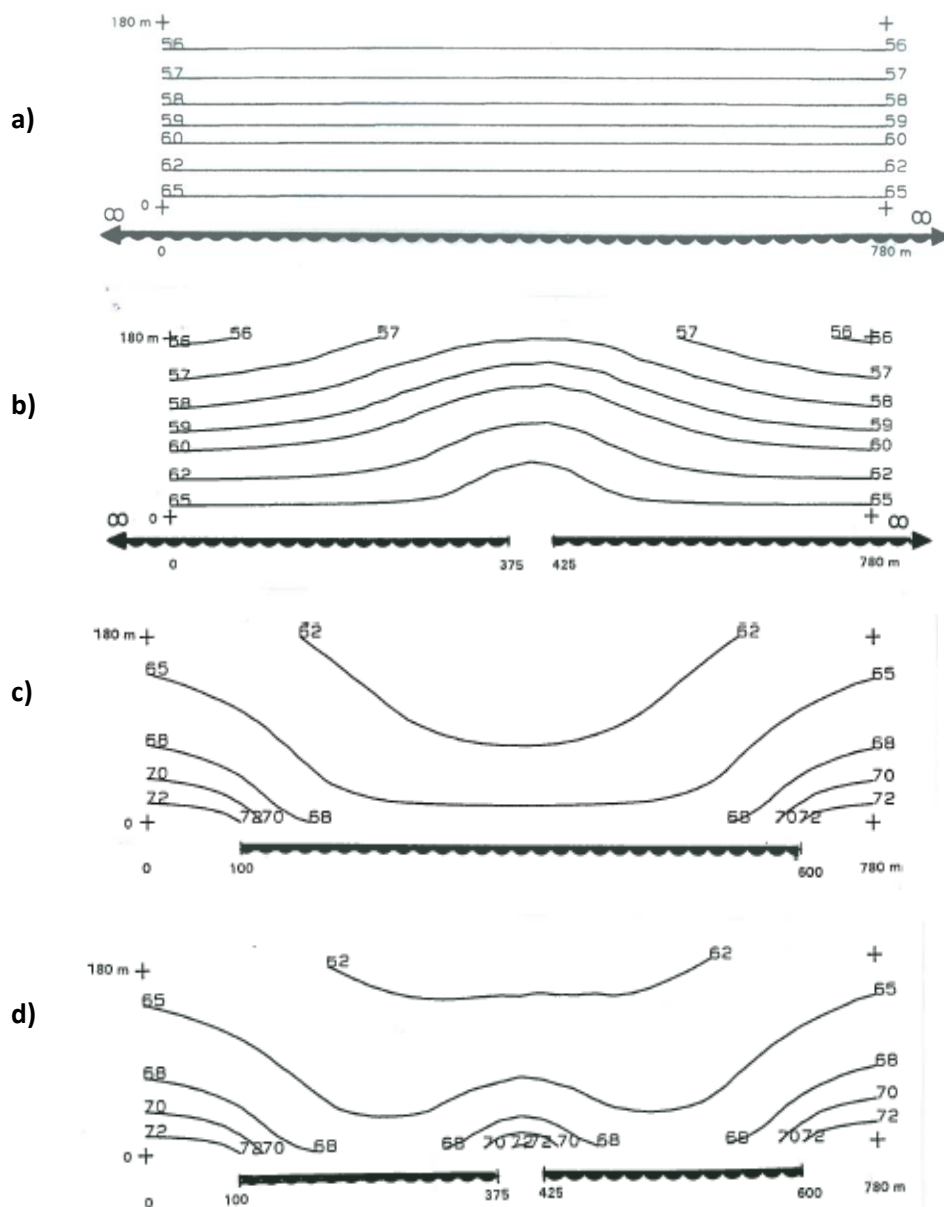
Voor de duidelijkheid was het verschijnsel van diffractie onder 11.2.2 op vereenvoudigde wijze beschreven. Daarbij was uitgegaan van een vaste puntbron, een oneindig lang scherm, een bron en ontvanger in hetzelfde vlak *loodrecht* op het scherm.

In de werkelijkheid wordt wegverkeerslawaaï voortgebracht door alle voertuigen die zich over verschillende verkeersaders in een veel complexere stedelijke context verplaatsen. De lengte van de geluidsschermen is er beperkt en de uiteinden vormen diffractieranden: geluid “omzeilt” de schermen aan de uiteinden of door openingen (bijvoorbeeld nooduitgangen, opritten, enz.).

Figuur 33 illustreert deze effecten aan de hand van geluidskaarten (equivalent geluidsniveau) voor de volgende gevallen:

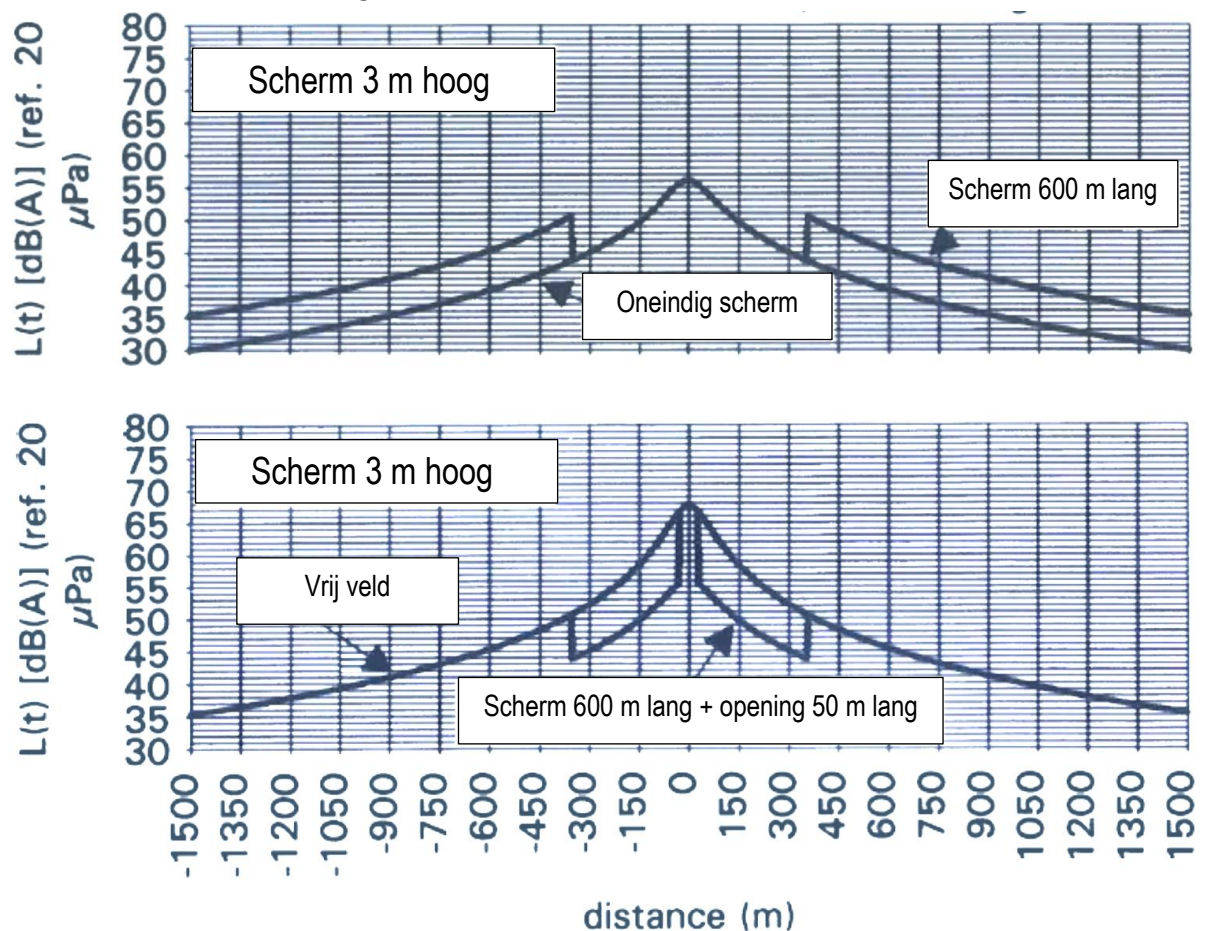
- a) *een oneindig lang scherm*: de krommen van de iso-geluidslijnen lopen evenwijdig met de weg;
- b) *een oneindig lang scherm met een opening van 50 m*: ter hoogte van de opening stijgen de geluidsniveaus aanzienlijk;
- c) *een scherm van 500 m lang*: de geluidsniveaus aan de schermuiteinden zijn aanzienlijk hoger, doordat het geluid zich voor en na het scherm langs de schermuiteinden kan voortplanten;
- d) *een scherm van 500 m lang met een opening van 50 m (combinatie van de gevallen b) en c))*: de geluidsniveaus aan de schermuiteinden zijn aanzienlijk hoger. Het geluid van voertuigen kan zich voor en na het scherm aan de schermuiteinden voortplanten en ter hoogte van de opening stijgen de geluidsniveaus aanzienlijk.

Alle geluidskaarten zijn berekend op een constante hoogte van 5 m langs een autosnelweg met tweemaal twee rijstroken en een (geluids)absorberend scherm (om verstoring door reflectie tegen te gaan) van 3 m hoog evenwijdig met de weg. Ze strekken zich uit over een lengte van 780 m en een diepte van 200 m.



Figuur 33 – Geluidskaarten ter illustratie van de invloed van de lengte

Figuur 34 toont schematisch het verloop in de tijd van het geluidsniveau bij de doortocht van een voertuig op de dichtstbij gelegen rijstrook. Het geluidsniveau is berekend op een afstand van 50 m achter het scherm en een hoogte van 5 m.



Figuur 34 – Verloop in de tijd van het geluidsniveau bij de doortocht van een voertuig aan een geluidsscherm

Op figuur 34 is het verloop in de tijd van het geluidsniveau duidelijk zichtbaar voor een oneindig lang scherm, een scherm van 600 m lang, een gedeelte zonder scherm (*free field* of vrij veld) en een scherm van 600 m lang met een opening van 50 m in het midden.

Een stedelijke omgeving is echter heel wat complexer dan de zeer vereenvoudigde gevallen in het bovenstaande voorbeeld, met alle daaruit voortvloeiende gevolgen voor het geluidsveld.

Volume

Een geluidsscherm wordt doorgaans als een “dun” obstakel beschouwd. De meeste schermen zijn ook dun. Aarden geluidswallen zijn echter omvangrijker en onder 11.2.2.4 (figuren 24 tot 26) is het mogelijke (soms zelfs negatieve) effect ervan beschreven.

Naast dunne, vlakke en rechte schermen zijn er inderdaad ook andere, niet-vlakke soorten zoals groenschermen, schermen van schanskorven en schermen met een bijzondere vorm op de markt. Deze soorten worden onder 11.4 uitgebreid beschreven.

1.3.1.2 Relatieve positie van voertuigen en ontvangers – Topografie - Profiel van de infrastructuur

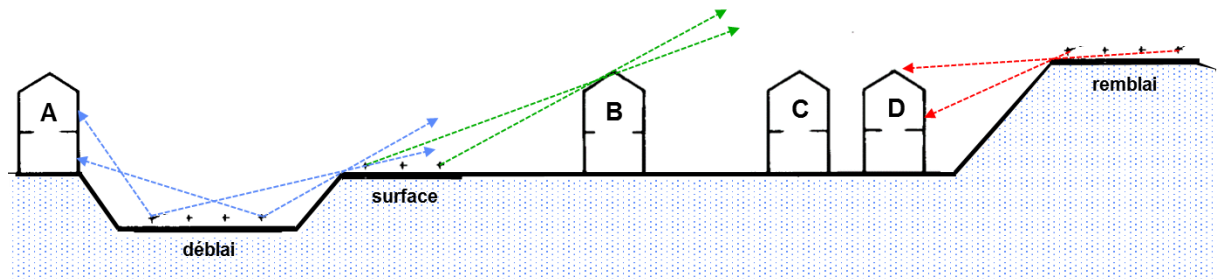
We blijven nog even in het ruimtedomein (ook geometrisch of driedimensionaal domein genoemd). Hogerop is de invloed van de hoogte, de lengte, de vorm en het volume van obstakels bij de voortplanting van geluid beschreven.

De relatieve positie van bronnen (voertuigen), obstakels (schermen) en ontvangers (voetgangers, gebouwen) beïnvloedt eveneens in grote mate de efficiëntie van geluidsschermen.

Het is eigenlijk net zoals voor de hoogte van schermen (obstakels): hoe steiler de schaduwlijn die de bron (voertuig) en de top van het obstakel (scherm) verbindt, hoe efficiënter het scherm (figuur 21).

Zo zullen ook de topografie in de omgeving van de infrastructuur (weg) en het lengteprofiel van de infrastructuur een grote rol spelen bij de voortplanting van geluid. Ze kunnen zelfs “natuurlijke” obstakels creëren. Op figuren 35 en 36 is de invloed van het lengteprofiel van een weg en van de topografie op de voortplanting van geluid schematisch weergegeven.

Weg in ingraving – Weg op maaiveldhoogte - Weg in ophoging

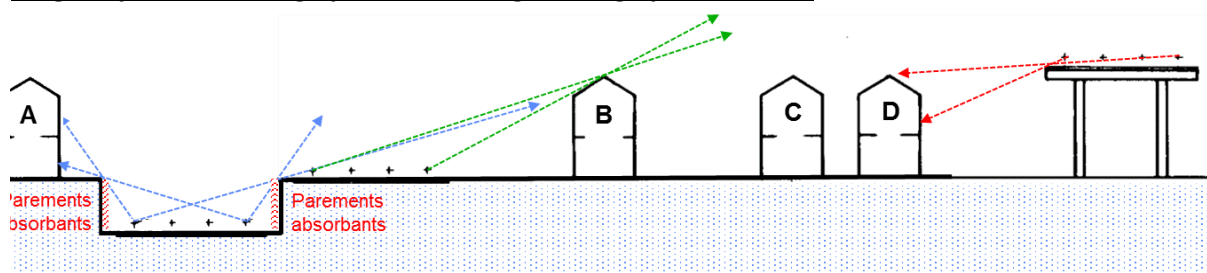


Figuur 35 – Invloed van het lengteprofiel van een weg en van de topografie op de voortplanting van geluid voor een weg in ingraving, op maaiveldhoogte en in ophoging

Op de bovenstaande figuur zijn vier woningen getekend, met telkens één verdieping.

- Een weg in ingraving biedt geen afscherming voor woning A en slechts weinig afscherming voor woning B (blauwe schaduwlijnen). Naargelang van de ligging van de woningen ten opzichte van de kant van de ingraving, biedt de ingraving geen of slechts weinig afscherming.
- Een weg op maaiveldhoogte stelt woningen A en B rechtstreeks aan verkeerslawaaai bloot. Woning B bevindt zich op de eerste lijn ten opzichte van de weg en vormt een obstakel voor de voortplanting van wegverkeerslawaaai naar tweede- en derdelijnswohnungen C en D (groene schaduwlijnen). In een stedelijke omgeving vormen rijhuizen een redelijk lang obstakel (scherm) dat de achterzijde en de tweede- en derdelijnswohnungen efficiënter afschermt.
- Hoewel de kant van de ophoging een obstakel voor ontvangers onder de schaduwzones kan vormen (rode schaduwlijnen), stelt een weg in ophoging doorgaans de woningen overvloedig aan wegverkeerslawaaai bloot. Het plant zich over woningen D en C voort en veroorzaakt ook geluidshinder in woningen B en A.

Weg in open sleuf - Weg op maaiveldhoogte - Weg op een viaduct



Figuur 36 – Invloed van het lengteprofiel van een weg en van de topografie op de voortplanting van geluid voor een weg in open sleuf, op maaiveldhoogte en op een viaduct

In een stedelijke omgeving komen wegen in ingraving of ophoging weinig voor. Men treft er veeleer wegen in open sleuf of op viaducten aan. Op figuur 36 is het voorbeeld van figuur 35 overgenomen met een weg in open sleuf (in plaats van in ingraving) en op een viaduct (in plaats van in ophoging).

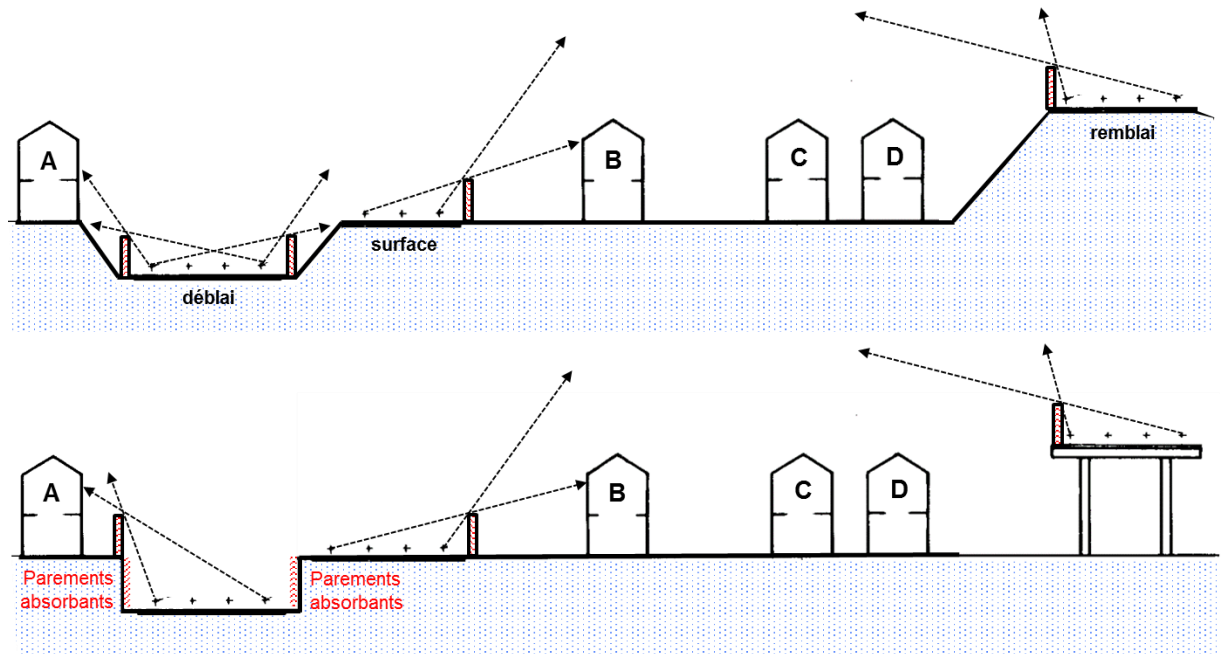
- Voor een **weg in open sleuf** wordt aanbevolen geluidsabsorberende wandbekledingen aan te brengen (11.2.1.2, figuur 7), om meervoudige reflectie tegen te gaan. De wanden vormen dan een efficiënter obstakel (scherm) omdat ontvangers zich lager in de schaduwzones bevinden (**blauwe schaduwlijnen**). Net zoals bij een weg in ingraving zijn de bovenste verdiepingen van gebouwen met direct zicht op de sleuf (of ingraving) moeilijker af te schermen.
- Voor een **weg op maaiveldhoogte** is dezelfde commentaar van toepassing als bij figuur 35.
- Net zoals bij een weg in ophoging kan de kant van een viaduct een obstakel vormen voor ontvangers onder de schaduwzones (**rode schaduwlijnen**). Niettemin stelt een **weg op een viaduct** meer woningen bloot aan wegverkeerslawaai. Het geluid plant zich immers over woningen D en C voort en veroorzaakt geluidshinder in woningen B en A.

Samenvattend kan worden gesteld dat zonder geluidsschermen als aanvulling op het wegprofiel:

- **wegen in open sleuf** (voor zover de wanden met geluidsabsorberend materiaal zijn bekleed) en **wegen in ingraving de omgeving licht kunnen afschermen. Gebouwen met direct zicht op dergelijke wegen kunnen echter zeer moeilijk tot helemaal niet worden afgeschermd;**
- **wegen op maaiveldhoogte** direct zicht op het verkeer bieden, waardoor **eerstelijns**woningen niet kunnen worden afgeschermd. Deze woningen schermen wel de tweede- en derdelijns woningen af. Dat verklaart waarom de talrijke binnenhoven in het Brusselse Hoofdstedelijk Gewest zo rustig zijn;
- onbeschermd **wegen op een viaduct** of in ophoging lageregelegen woningen licht kunnen afschermen. De geluidsbronnen liggen er echter hoger, waardoor een groot aantal woningen aan wegverkeerslawaai wordt blootgesteld.

Efficiëntie van *schermen* naargelang van het lengteprofiel en de topografie

Voor dezelfde schermhoogte zal de efficiëntie sterk afhangen van het wegprofiel in de omgeving. Op figuur 37 is dit schematisch weergegeven: hoe hoger het wegprofiel ten opzichte van de af te schermen woningen, hoe hoger de schaduwzones (en bijgevolg de efficiëntie van het scherm).



Figuur 37 – Invloed van het lengteprofiel van een weg en van de topografie op de efficiëntie van geluidsschermen voor een weg in ingraving of open sleuf, op maaiveldhoogte, in ophoging of op een viaduct

Een goed begrip van de invloed van het lengteprofiel van een weg en van de topografie op de efficiëntie van geluidsschermen is dan ook van essentieel belang (figuren 35 tot 39).

- **Zonder scherm:** hoe hoger een weg is gelegen, hoe groter de invloedszone (figuur 38)
 - Een weg in ingraving of open sleuf (met een gemiddelde diepte van ongeveer 5 m tot 7 m) biedt een lichte afscherming voor gebouwen zonder direct zicht op de weg.
 - Eerstelijnswohnungen worden sterk blootgesteld aan wegverkeerslawaai, maar schermen tweede- en derdelijnswohnungen af (zie binnenhoven in het Brusselse Hoofdstedelijk Gewest).
 - Bij **onbeschermde wegen in ophoging of op een viaduct is de invloed het grootst in een stedelijke omgeving.**
- **Met scherm:** hoe hoger een weg is gelegen, hoe efficiënter het scherm (voor dezelfde hoogte)
 - Geluidsschermen aan de kant van een weg in ingraving hebben geen nut.
 - Geluidsschermen aan de kant van een weg in open sleuf of bovenaan de ingraving kunnen een afschermend effect hebben, behalve voor de verdiepingen met direct zicht op de weg (zelfs gedeeltelijk zicht op sommige rijstroken van de weg kan geluidsschermen inefficiënt maken).
 - In een stedelijke omgeving is het haast onmogelijk om geluidsschermen te plaatsen, tenzij aan openbare ruimten zoals parken en wandelwegen of als de woningen zich ver genoeg van de weg bevinden.
 - Geluidsschermen op een viaduct en ophogingen zijn het efficiëntst omdat ze de schaduwzones sterk verhogen (figuur 39).



Figuur 38 – In een stedelijke omgeving hebben wegen op een viaduct of in ophoging de grootste invloedszone

Figuur 39 – Geluidsschermen zijn het efficiëntst voor wegen op een viaduct en in ophoging

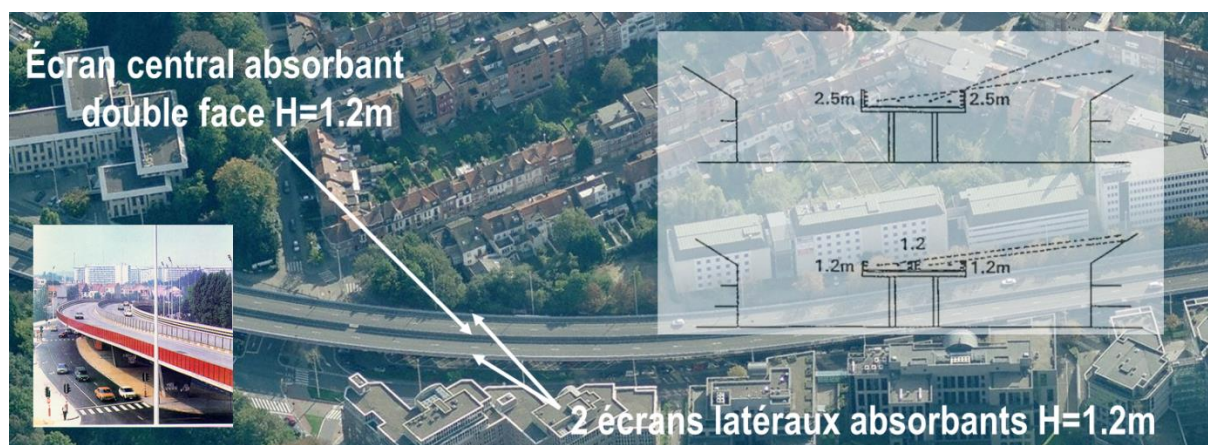
Middenbermschermen

Geluidsschermen langs een weg met verschillende rijstroken hebben een groter effect voor de dichtstbij gelegen rijstroken dan voor de verderaf gelegen rijstroken omdat de schaduwzones voor voertuigen die dichtbij passeren hoger zijn dan voor voertuigen die verderaf voorbijrijden. Op figuren 35 tot 39 is dit effect duidelijk zichtbaar (minder steile schaduwlijnen van verderaf gelegen geluidsbronnen).

Het lijkt dan ook logisch om in het midden tussen twee rijrichtingen een extra middenbermscherm aan te brengen, zodat het zich dichtbij de verste rijstroken bevindt en het wegverkeerslawaai op die stroken beter kan afschermen.

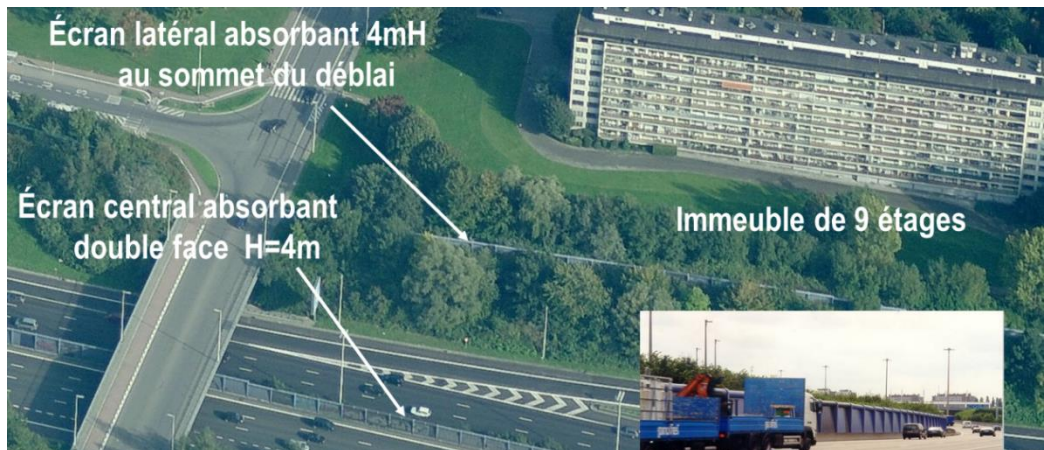
Een **viaduct in een stedelijke omgeving** belemmert het zicht. Om die visuele hinder zoveel mogelijk te beperken, worden viaducten zo slank mogelijk gebouwd. Een geluidsscherm aan de kanten van een viaduct plaatsen, heeft echter twee nadelen. Het verhoogt de visuele hinder voor de omgeving en doet hoge mechanische spanningen op de rijvloer inwerken (effect van windbelasting op het scherm, overgedragen effect op de verankeringen onderaan in het scherm).

Figuur 40 illustreert hoe op een stedelijk viaduct (Hermann-Debrouxviaduct in Oudergem) dezelfde en zelfs een hogere prestatie wordt bereikt door twee zijschermen van 2,5 m hoog te vervangen door twee zijschermen en een middenbermscherm van 1,2 m hoog.



Figuur 40 – Toepassing van een middenbermscherm om de hoogte van de zijschermen te verminderen

Ook **andere weginfrastructuur met druk verkeer** kan grote geluidshinder veroorzaken, die vaak moeilijk te beheersen is omwille van de combinatie van het lengteprofiel van de weg met een ongunstige topografie. Steeds volgens dezelfde basisregels kunnen ook in dergelijke gevallen **middenbermschermen** worden toegepast om wegverkeerslawaai van de verste rijstroken af te schermen (bijvoorbeeld, de Ring rond Brussel in Anderlecht – figuur 41).



Figuur 41 – Toepassing van een middenbermscherm om een gebouw van negen verdiepingen hoog beter af te schermen

Lage geluidsschermen

Lage geluidsschermen zijn eigenlijk klassieke schermen die echter enkel en alleen dankzij een gunstige ligging ten opzichte van de af te schermen geluidsbron zeer goed presteren.

Eerder is al het belang van de ligging van een scherm voor de afscherming van de omgeving aangestipt: hoe steiler de schaduwlijn (bron/scherm - 11.2.2.3, figuren 21 en 22), hoe efficiënter het scherm.

Idealiter wordt een scherm haast tegen de geluidsbron geplaatst. Om voor de hand liggende veiligheidsredenen is dit op wegen echter moeilijk te realiseren omdat voertuigen geen vaste positie op de rijbaanbreedte innemen.

Bij spoor- en trambanen (figuur 42):

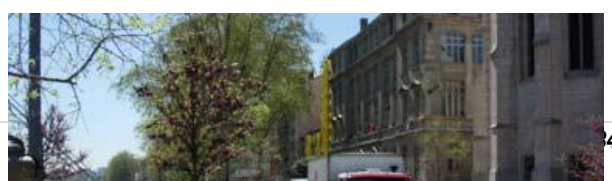
- nemen treinen en trams een vaste positie op de rijbaanbreedte in (rails);
- bevindt de voornaamste geluidsbron (wiel-railcontact) zich zeer laag, namelijk op het niveau van de grond;
- bestaat het geluidsspectrum van de voornaamste geluidsbron uit veel hoge frequenties en dus uit zeer korte golflengten. Deze zijn het gemakkelijkst af te schermen.

Het spreekt dan ook voor zich dat lage geluidsschermen dichtbij de rails en buiten de veiligheidsruimte zeer goed presteren.



Figuur 42 – Voorbeeld van laag geluidsscherm naast een spoorbaan

Figuur 43 toont een ander voorbeeld van laag geluidsscherm naast een weg met twee dichtbijgelegen rijstroken. Deze constructie schermt de openbare ruimte gedeeltelijk af maar kan het voetgangersverkeer ook hinderen. Bij een dergelijke toepassing dient dan ook steeds met alle aspecten rekening te worden gehouden.



Figuur 43 – Laag groenscherm in een stedelijke omgeving (bron: www.greener-cities.eu)

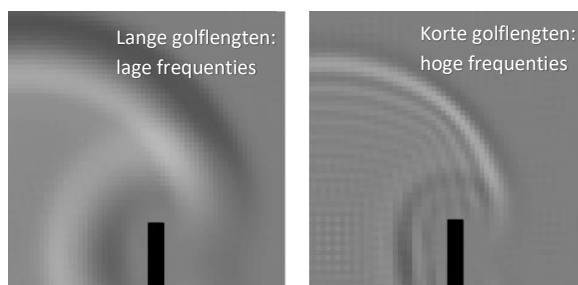
1.3.1.3 Frequentiedomein - Tijdsdomein

Het ruimte- of geometrisch domein is niet het enige dimensionele domein dat de prestatie van geluidsschermen kan beïnvloeden. Ook het frequentie- en het tijdsdomein spelen een rol, al worden deze bij de dimensionering van geluidbeperkende constructies vaak verwaarloosd.

Frequentiedomein

Zoals vermeld onder 11.2, houden de drie fysische verschijnselen die de efficiëntie van geluidsschermen bepalen (*reflectie/absorptie*, *diffractie* en *overdracht* van geluidsgolven) rechtstreeks verband met de *golflengte* en dus de *frequentie* (waaraan ze omgekeerd evenredig is).

Het is dan ook eenvoudig te begrijpen dat **een scherm minder goed afschermt tegen de voortplanting van golven die even lang of langer zijn dan het obstakel** (de golf plant zich over het scherm voort – figuur 44).



Figuur 44 – Invloed van de golflengte op de prestatie van een geluidsscherm

Hetzelfde geldt voor **het vermogen van een materiaal om golven te absorberen** die op het oppervlak terechtkomen: **hoe korter de golflengten, hoe beter ze worden geabsorbeerd**.

Ten slotte kan worden gesteld dat **hoe korter de golflengte, hoe groter het vermogen van een geluidsscherm om de voortplanting van golven door het scherm tegen te houden**.

Daarom is de efficiëntie van een geluidsscherm hoger voor hoge frequenties (zogenoemde midden- of scherpe frequenties) die overeenstemmen met kleine golflengten (van orde van grootte 10 cm of minder) dan voor lage frequenties (van orde van grootte 1 m of meer). Dit verklaart waarom achter een scherm het waargenomen geluidsspectrum wijzigt en het lawaai er zowel vermindert als verzacht.

Aanbevolen wordt dan ook de intrinsieke prestaties van geluidbeperkende constructies voor alle frequenties waartegen ze moeten optreden (doorgaans banden van 1/3 octaaf, van 125 Hz tot 5 KHz) te karakteriseren. Bij de totaaldimensionering van de constructies dient met *al* deze frequenties rekening te worden gehouden.

Tijdsdomein

Bij de dimensionering van geluidsschermen wordt vaak vergeten dat **voertuigen** geen vaste punt- of lijnbronnen van geluid zijn, maar **volumes met complexe vormen die zich met wisselende snelheden in de ruimte verplaatsen**.

Het totaalgeluid dat in een omgeving wordt waargenomen, is niets anders dan de som van de bijdrage van alle afzonderlijke voertuigen in het verkeer. De efficiëntie van geluidbeperkende constructies verschilt voor elk voertuig naargelang van zijn positie op een gegeven tijdstip.

In verband met zogenoemde ruimte- en tijdsverschijnselen (zoals interactie tussen voertuigcarrosserie en schermen of geluid van afzonderlijke voertuigen op rustigere tijdstippen, bijvoorbeeld 's nachts) mag het mogelijke belang van het verloop in de tijd niet worden vergeten. Hiervoor kan worden verwezen naar het verloop in de tijd op figuren 10 (carrosserie-scherminteractie), 13 (tunnel) en 34 (onderbreking in een geluidsscherm).

De tijdsdimensie verklaart de bijzondere hinder bij de doortocht van afzonderlijke voertuigen of het versterkend effect van geluidsreflecterende schermen.

1.3.2 Vorm van de objecten

Onder 11.2.1 is beschreven hoe reflectie de voortplanting van golven kan beïnvloeden. Onder 11.2.2 werd uitgelegd hoe door diffractie golven over een geluidsschermd kunnen gaan.

Het spreekt voor zich dat de vorm van de objecten de wijze waarop golven erop reflecteren in grote mate zal beïnvloeden, net zoals ook de wijze waarop de objecten invallende golven diffracteren.

Bij tegenover elkaar staande objecten worden deze effecten nog versterkt, bijvoorbeeld bij meervoudige reflectie tussen twee wanden, ongeacht of het om twee vaste wanden (twee muren/schermen), twee mobiele wanden (twee voertuigen) of een vaste (wand/schermd) en een mobiele (voertuig) wand gaat.

1.3.2.1 *Voertuigen*

Stedelijk verkeer bestaat uit verschillende soorten van voertuigen:

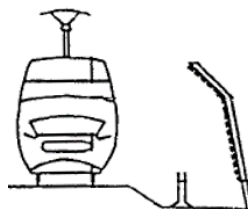
- tweewielers;
- personenwagens;
- bestelwagens;
- vrachtwagens (enkelvoudig voertuig, trekker-opleggercombinatie, voertuig met aanhangwagen);
- ongelede en gelede bussen (twee of drie delen);
- trams.

Elk voertuigtype heeft een min of meer continue carrosserie en kan in verschillende lengten voorkomen. De manier waarop golven erop reflecteren, verschilt naargelang van de vorm en de lengte. De doorgangstijd van een afzonderlijk voertuig voor een vast ontvangstpunt hangt af van de rijsnelheid en de lengte.

1.3.2.2 *Geluidsschermen*

Het ruime aanbod aan (absorberende en reflecterende) geluidsschermen op de markt kan in de hiernavolgende categorieën worden opgedeeld:

- dunne, vlakke schermen: recht of schuin opgesteld (ten opzichte van voertuigen of de omgeving);
- dunne, niet-vlakke schermen: met gebogen of bijzondere vorm (figuur 45);
- omvangrijke geluidsschermen: groenschermen, trapvormige keermuren;
- schermen met extra diffractievoorzieningen (figuur 46).



Figuur 45 – Voertuig met bijzondere carrosserie naast een scherm met geoptimaliseerde vorm

Niet-vlakke schermen worden vaak speciaal ontworpen om problemen met enkel- of meervoudige reflectie te vermijden. Het ontwerp dient dan te worden afgestemd op de vorm van het voertuig waarvan het geluid moet worden afgeschermd. Figuur 46 toont het verloop van een dergelijke optimalisering voor een geluidsschermd naast een hogesnelheidslijn (hier: Thalys).



Figuur 46 – Geluidskaarten (-15 m tot +45 m boven het spoor en 10 m tot 150 m rechts naast het spoor) als functie van de soort van geluidsscherm voor een hogesnelheidslijn (vormgeving en geluidsabsorberende kenmerken)

Figuur 47 toont een **andere toepassing van niet-vlakke geluidsschermen**, namelijk op een **viaduct**. Op viaducten wordt vaak de voorkeur gegeven aan transparante schermen, om de visuele hinder te beperken. Transparante schermen zijn echter geluidsreflecterend en veroorzaken bij een rechte opstelling meervoudige reflectie, waardoor het geluidbeperkend effect afneemt. Om de meervoudige reflectie beter te beheersen, worden naar het midden van de weg gebogen schermen toegepast.

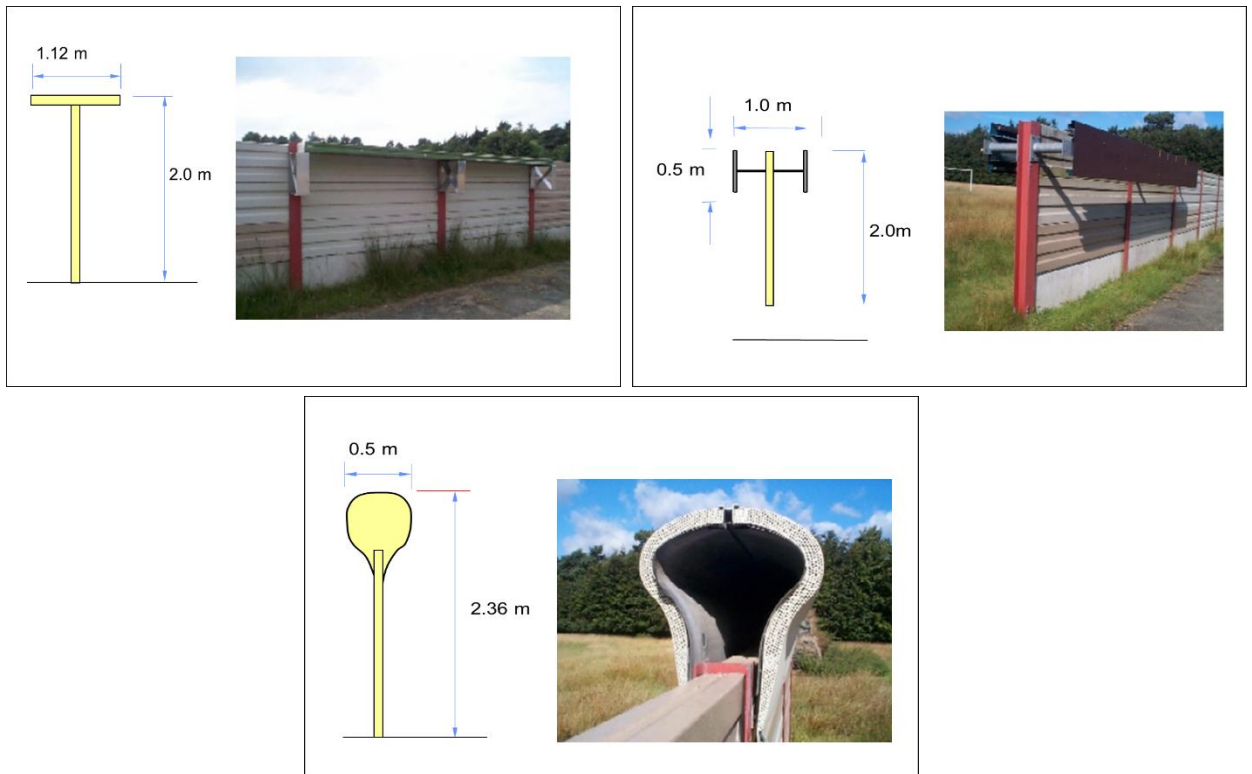


Figuur 47 – Gebogen scherm voor beheersing van meervoudige reflectie

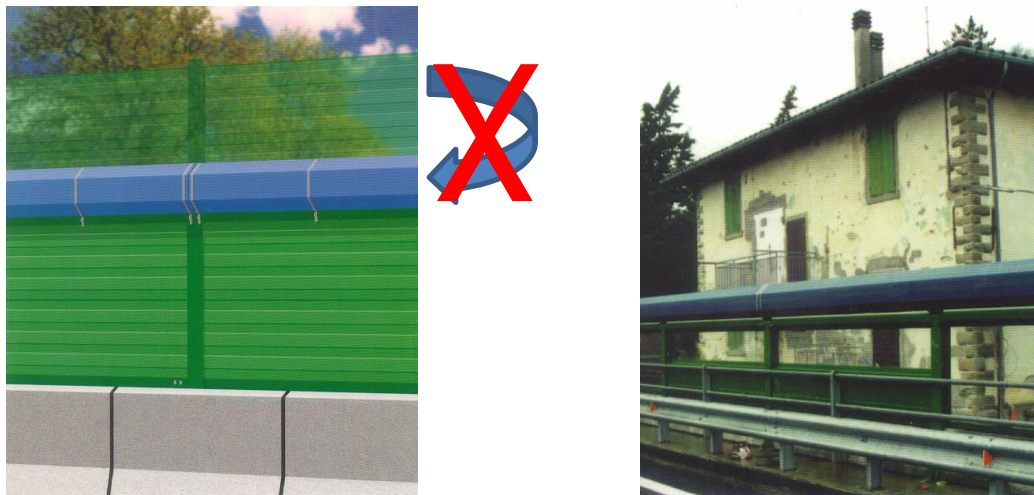
Toepassing van **omvangrijke geluidsschermen** zoals groenschermen of trapvormige keermuren dient weloverwogen te gebeuren. Ze presteren vaak matig op het vlak van geluidsabsorptie en de begroeiing is niet altijd goed bestand tegen de nabijheid van verkeer en de bijbehorende verontreiniging (bijvoorbeeld, wegzout).

Figuur 48 toont enkele voorbeelden van extra voorzieningen die op de top van geluidsschermen kunnen worden aangebracht.

Voor de prestaties van dergelijke voorzieningen dient de nodige omzichtigheid in acht te worden genomen. Ze zijn immers enkel efficiënt onder de schaduwlijn van het scherm. Ze rechtvaardigen geenszins eenzelfde vermindering van de hoogte wanneer woningen zich hierdoor boven de schaduwlijn van het scherm bevinden (figuur 49).



Figuur 48 – Voorbeelden van geluidsschermen met extra voorzieningen op de top



Figuur 49 – De prestatie van extra voorzieningen rechtvaardigt niet steeds een lagere hoogte

Onder 11.3.3 worden de genormaliseerde meetmethoden voor de prestatiebeoordeling van deze extra voorzieningen beschreven.

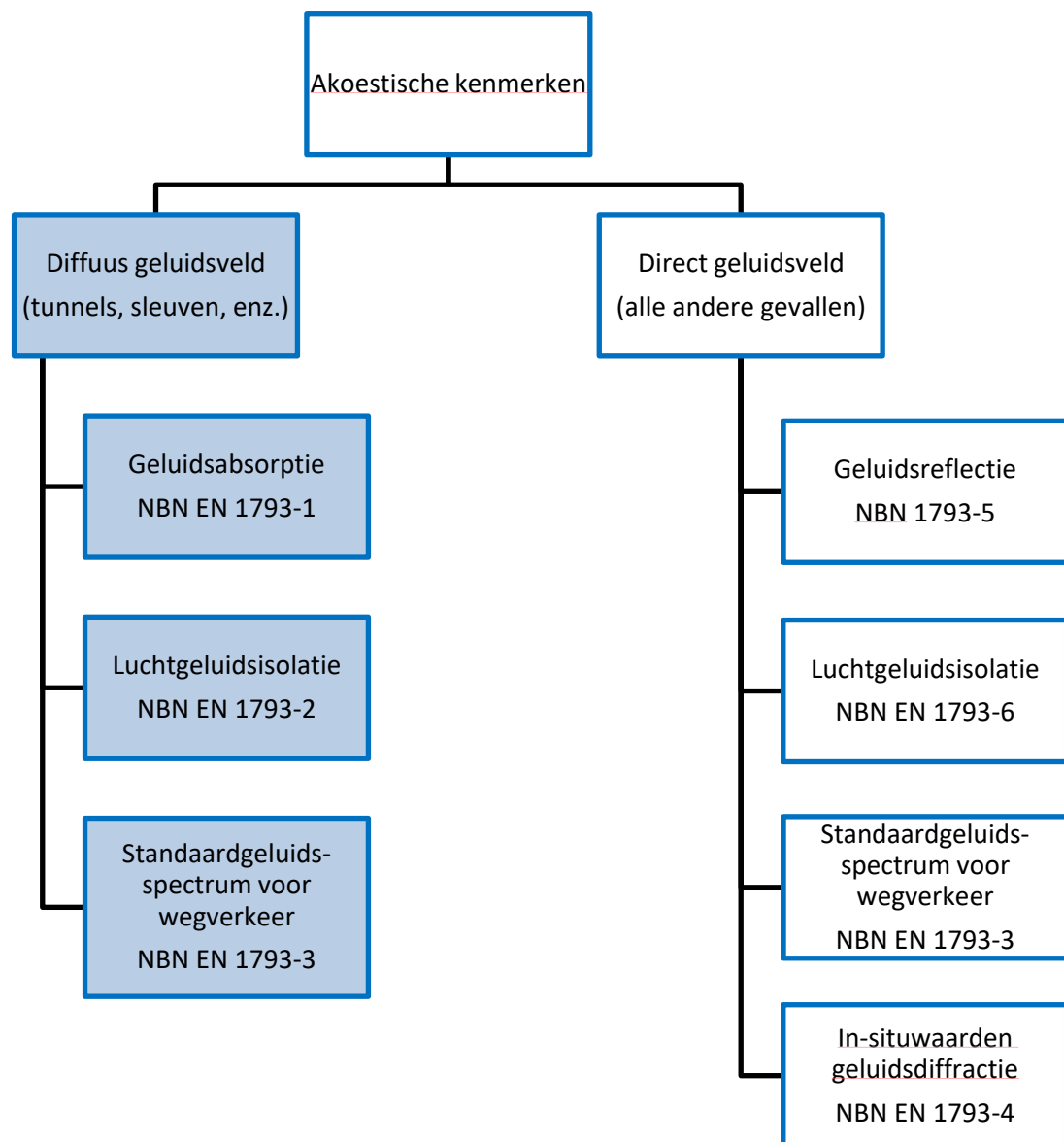
1.3.3 Intrinsieke kenmerken van de constructies

Intrinsieke kenmerken zijn de kenmerken *eigen aan een product* (in tegenstelling met kenmerken zoals lengte, hoogte en ligging die te maken hebben met de plaatsing).

Afhankelijk van de soort, dienen de constructies de volgende essentiële (akoestische) kenmerken te bezitten:

- geluidsschermen: geluidsabsorptie (ingeval van zogeheten geluidsabsorberende producten) en geluidsisolatie;
- geluidsabsorberende wandbekledingen: geluidsabsorptie;
- extra voorzieningen: geluidsdiffractie.

Onder 11.2.1, 11.2.2 en 11.2.3 werd de invloed van de kenmerken van absorptie/reflectie, diffractie en isolatie op de eindprestatie van geluidbeperkende constructies beschreven. Om de producten op de Europese markt te kunnen vergelijken, heeft het Europese normalisatiecomité CEN een reeks Europese normen (EN) opgesteld waarin de meetmethoden voor objectieve kenmerking van de producten staan beschreven. Figuur 50 toont een overzicht van deze normenreeks.



Figuur 50 – Overzicht van de Europese normen voor akoestische kenmerken van geluidbeperkende constructies

Er bestaan twee soorten van methoden:

- methoden voor **meting in diffuus geluidsveld** (in het laboratorium of een nagalmkamer). Met deze methoden kunnen constructies voor toepassing in diffuus geluidsveld worden beoordeeld. Het betreft specifiek hiervoor bestemde geluidsabsorberende wandbekledingen;
- methoden voor **meting in direct geluidsveld** (methoden die buiten kunnen worden toegepast, dus ook langs wegen ter controle). Met deze methoden kunnen constructies in elke andere buitentoepassing worden beoordeeld.

Naast deze twee soorten van meetmethoden is in de NBN EN 1793-3 een standaardgeluidsspectrum voor de bepaling van unieke evaluatie-indices gedefinieerd. Het betreft vereenvoudigde indices die de specifieke prestaties van de constructies voor elke 1/3 octaafband in één index samenbrengen nadat deze frequentieprestaties volgens een standaardgeluidsspectrum zijn gewogen.

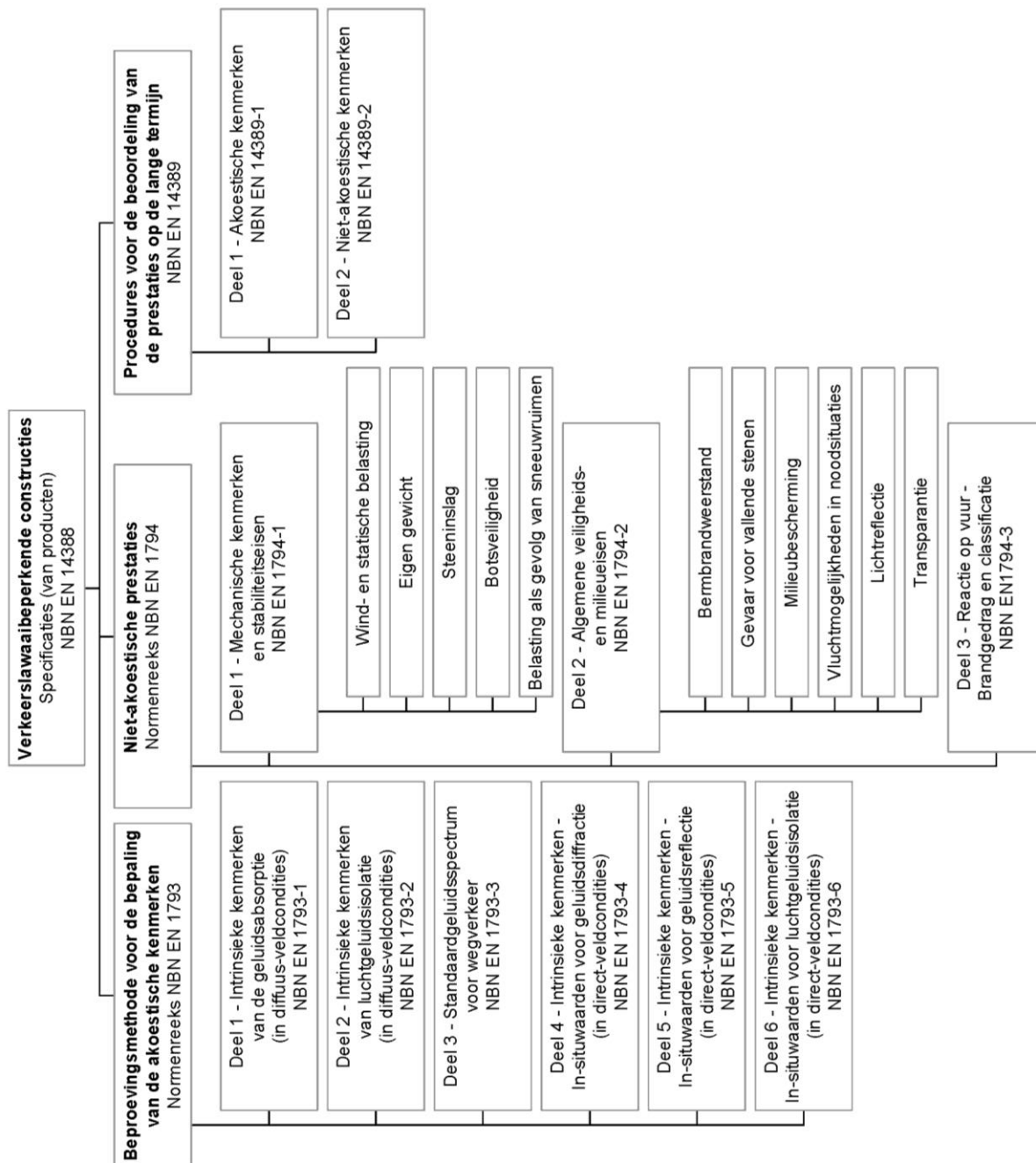
Bij de keuze van een product dient men steeds met de prestaties volgens de toepasselijke methoden rekening te houden: de NBN EN's 1793-1, -2 en -3 voor toepassingen in diffuus geluidsveld en de NBN EN's 1793-3, -4, -5 en -6 voor alle andere toepassingen.

Ten slotte dient te worden aangestipt dat **naast de akoestische kenmerken** ook veiligheid en duurzaamheid **belangrijke ontwerpaspecten voor geluidsschermen** zijn.

Figuur 51 toont schematisch **het volledige normatieve kader met de toepasselijke normen voor geluidbeperkende constructies langs wegen**.

Figuren 52 tot 54 tonen een voorbeeld van meetverslag over de kenmerken van geluidsreflectie volgens de NBN EN 1793-5.

De figuren 55 tot 57 tonen een voorbeeld van meetverslag over de kenmerken van geluidsisolatie volgens de NBN EN 1793-6.



Figuur 51 – Normatief kader voor geluidbeperkende constructies langs wegen

Template of test report on sound reflection of road noise barriers

for product xxxx produced by the firm xxxxx

55051

Figuur 52 – Voorbeeld van meetverslag over de geluidsreflectiekenmerken volgens de EN 1793-5 (1)

B.2 Testsetup (example)

The noise reducing device under test is a composite absorptive barrier constructed in perforated metal sheet, 1 mm thick, and mineral wool backed by a blind metal sheet, 1 mm thick. It is composed by two sections, each section comprising 4,0 m wide x 4,0 m high panels, supported in between steel H-section posts which are 4,0 m centres. This is representative of the construction arrangement used alongside highways. The overall dimensions of the test configuration are height = 4,0 m and width = 8,0 m. Figure B.1 shows the barrier viewed from the front (traffic side).

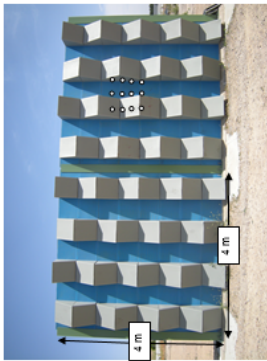


Figure B.1 – (Example) General view of test barrier (from front (road) side) – White circle mark measurement positions based on the post spacing of 4 m.

The source is at a height of 2,0 m above the ground. The prescribed measurement grid is applied in 12 different positions (the circles in Figure B.1 show the approximate positions of the loudspeaker-centre microphone axis). There are no sound reflecting nor sound diffracting parasitic objects acting in the sample area. The test situation including the loudspeaker and microphone array is shown in Figure B.2.

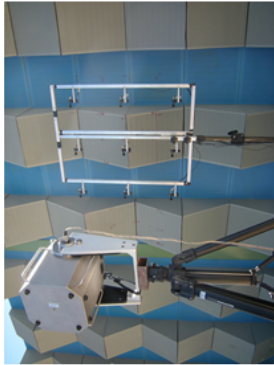


Figure B.2 – (Example) Test arrangement showing loudspeaker and microphone array when measuring.

B.3 Test object and test situation (example)

Figure B.3 shows a typical plan section through the barrier, including the dimensions of the different elements. The posts are steel columns of the type EN 10210. The panels are held in place between the posts by means of metallic wedges at the rear.

Figure B.4 shows a typical cross-section through the barrier, including the dimensions of the different elements.

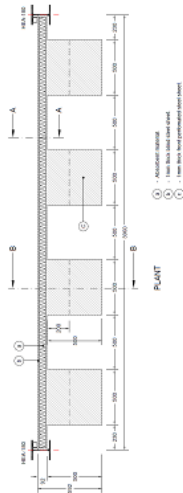


Figure B.3 – (Example) Plan view of the noise barrier (Dimensions in millimetres). g: mineral wool; thick blind steel sheet; c: 1 mm thick front perforated steel sheet.

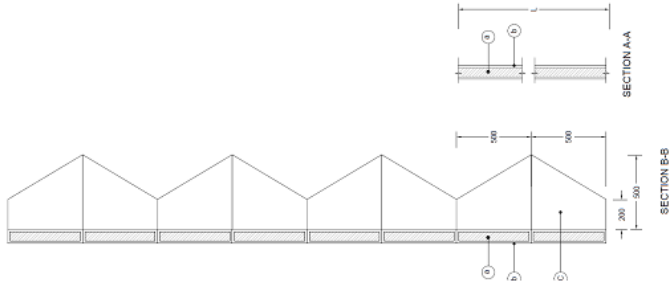


Figure B.4 – (Example) Cross-section through noise barrier (Dimensions in millimetres). g: mineral wool; b: 1 mm thick blind steel sheet; c: 1 mm thick front perforated steel sheet.

Figuur 53 – Voorbeeld van meetverslag over de geluidreflectiekenmerken volgens de EN 1793-5 (2)

B.4 Test Results (example)

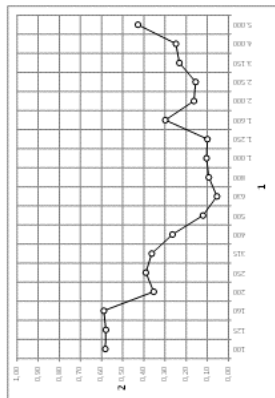
B.4.1 Part 1 – Results in tabular form

Table B.1 - Results in tabular form

Third-octave band centre frequency (Hz)	Particular values of sound reflection index R_i for the 12 measurement grid positions and the mean												Average	
	Particular values												Average	
	R_{i1}	R_{i2}	R_{i3}	R_{i4}	R_{i5}	R_{i6}	R_{i7}	R_{i8}	R_{i9}	R_{i10}	R_{i11}	R_{i12}	R_i	R_i
100	0.59	0.62	0.57	0.55	0.53	0.59	0.57	0.57	0.51	0.61	0.61	0.62	0.59	0.59
125	0.60	0.62	0.58	0.54	0.57	0.58	0.58	0.58	0.51	0.60	0.59	0.60	0.61	0.59
160	0.63	0.65	0.60	0.55	0.57	0.59	0.60	0.60	0.53	0.60	0.57	0.60	0.60	0.59
200	0.38	0.42	0.31	0.37	0.37	0.35	0.37	0.39	0.31	0.38	0.31	0.32	0.35	0.35
250	0.43	0.47	0.35	0.39	0.39	0.36	0.42	0.43	0.35	0.38	0.34	0.36	0.39	0.39
315	0.43	0.45	0.34	0.37	0.37	0.34	0.37	0.37	0.33	0.33	0.33	0.33	0.36	0.36
400	0.34	0.33	0.28	0.28	0.30	0.27	0.22	0.24	0.22	0.21	0.25	0.23	0.26	0.26
500	0.15	0.15	0.12	0.13	0.15	0.15	0.07	0.08	0.08	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12
630	0.05	0.04	0.04	0.07	0.05	0.06	0.06	0.04	0.04	0.09	0.05	0.06	0.05	0.05
800	0.07	0.07	0.06	0.13	0.08	0.07	0.17	0.11	0.09	0.11	0.09	0.07	0.09	0.09
1 000	0.11	0.10	0.09	0.13	0.11	0.08	0.17	0.16	0.10	0.08	0.07	0.04	0.10	0.10
1 250	0.11	0.13	0.10	0.07	0.11	0.08	0.10	0.13	0.09	0.10	0.09	0.07	0.10	0.10
1 500	0.39	0.53	0.16	0.37	0.28	0.21	0.30	0.23	0.18	0.30	0.35	0.29	0.30	0.30
2 000	0.19	0.28	0.10	0.20	0.15	0.12	0.16	0.15	0.08	0.13	0.17	0.22	0.16	0.16
2 500	0.15	0.23	0.21	0.14	0.13	0.17	0.15	0.15	0.16	0.12	0.15	0.10	0.16	0.16
3 150	0.31	0.33	0.27	0.26	0.23	0.19	0.18	0.25	0.18	0.16	0.23	0.21	0.23	0.23
4 000	0.39	0.27	0.22	0.23	0.26	0.21	0.28	0.22	0.18	0.28	0.21	0.24	0.26	0.26
5 000	0.55	0.43	0.25	0.52	0.53	0.53	0.40	0.43	0.23	0.46	0.36	0.45	0.43	0.43

single number rating of sound reflection index, $U_{R,i} = 3$ dB.

B.4.2 Part 2 – Results in graphic form



Key:
- - - - - Declared value
- - - - - Sound reflection index

Figure B.5 – Results in graphic form

B.5 Uncertainty (example)

The uncertainty of the declared values of sound reflection index, in one-third octave band and for the single number rating, is estimated using the values for the standard deviation of reproducibility given in Table A.1.

A coverage factor of 1.96, corresponding to a confidence level of 95% for a Gaussian distribution, is assumed.

In order to have a conservative (worst case) estimate, the chosen value of the standard deviation of reproducibility are the maximal ones (last column of Table A.1).

The main step of the calculation are summarized in Table B.2.

It can be seen that the conservative estimate of the 95% confidence interval of the single-number rating is [5,03; 9,27] dB.

Table B.2 – Estimation of the uncertainty of the declared values of R_i

1/3 octave band, Hz	R_i	U (High)	U (95%)
100	0.53	0.32	0.62
125	0.53	0.18	0.34
160	0.59	0.12	0.24
200	0.35	0.14	0.27
250	0.39	0.13	0.25
315	0.36	0.13	0.25
400	0.26	0.12	0.24
500	0.12	0.12	0.23
630	0.05	0.14	0.26
800	0.09	0.15	0.28
1000	0.10	0.13	0.25
1250	0.10	0.15	0.28
1600	0.30	0.16	0.31
2000	0.15	0.15	0.29
2500	0.16	0.15	0.29
3150	0.23	0.17	0.32
4000	0.25	0.20	0.39
5000	0.43	0.23	0.45
$U_{R,i}$, dB (before rounding)	7.68	0.81	1.59

Figuur 54 – Voorbeeld van meetverslag over de geluidsreflectiekenmerken volgens de EN 1793-5 (3)

EN 1793-6:2011 (E)

Annex D
(informative)

Template of test report on airborne sound insulation of road traffic noise
reducing devices

for product **XXXX** produced by the firm **XXXXX**

(3)	TESTER'S The present test is based on the test method according to the European Standard EN 1793-6:2011
(4)	NAME AND ADDRESS OF TESTING ORGANIZATION:
(5)	DATE OF TEST:
(6)	PLACE OF TEST:
(7)	TEST SITUATION: see description and photographic presentation in D.1
(8)	TEST OBJECTS Manufacturer: Type: Dimensions: height, length, distance between support posts or ribs Date of manufacture: Date of installation: Exposure class(es) according to EN 14359-1: Physical condition during test (by visual inspection): Compositional: see description and photographic presentation in D.2. Drawings and photographs shall clearly show how the product is built, include at least front view, side view, back view.

EN 1793-6:2011 (E)

34

EN 1793-6:2011 (E)

35

(1)	SAMPLE CONDITIONS OF THE TEST OBJECT Dynamics: Temperature: MEASUREMENT CONDITIONS PREPARING AROUND THE TEST Wind speed: Wind direction: Air temperature: (2) Test arrangement: see description and photographic presentation in D.2. Note that this test arrangement is not intended for use on a non-flat surface. The microphone positions shall be the same as in the sample e.g. showing the microphone positions opposite a ridge on a non-flat product. (3) EQUIPMENT USED FOR MEASUREMENT AND ANALYSIS Sound source: Manufacturer: Type: Serial number: Microphones: Manufacturer: Type: Serial number: Analyzer: Manufacturer: Type: Serial number: (4) FIXTURES AND SAMPLING Type and characteristics of the anti-aliasing filter: Sample rate: (5) ACQUISITION TEMPERATURE WINDOW Length: (6) TEST FREQUENCY RANGE
-----	---

EN 1793-6:2011 (E)

36

EN 1793-6:2011 (E)

36

	LOW frequency limit: Smallest dimension of the test object: (14) TEST RESULTS: see tables and graphs in D.3 (15) MEASUREMENT UNCERTAINTY Combined standard uncertainty: Expanded uncertainty: Coverage factor: Confidence level: (16) SINGLE-NUMBER RATING The single-number rating for the airborne sound insulation amounts to: DL _{50z} = __ dB for an element Category: __ DL _{50p} = __ dB across a post Category: __ DL _{50a} = __ dB global Category: __ (17) SIGNATURE OF THE PERSON RESPONSIBLE FOR THE MEASUREMENTS Name: _____ Place, date: _____ signature _____
--	--

Figuur 55 – Voorbeeld van meetverslag over de luchtgeluidsisolatiekenmerken volgens de NBN EN 1793-6 (1)

EN 1793-6:2011 (E)

D.1 Test setup (example)

The barrier under test is a single-leaf, reflective timber barrier constructed in two sections, each section comprising 3,0 m wide x 2,0 m high panels, supported in between steel section posts which are at 3,0 m centre to centre. The barrier is constructed from vertical timber fence boards held in position by horizontal rails on the rear. The expansion gaps in between the panels are covered on the front of the barrier by vertical cover strips. The panels are 3,0 m wide and 2,0 m high.

The barrier is constructed in two sections. On the front of the barrier, the joint between the upper and lower section is sealed by a wide horizontal cover strip.

The posts are steel section columns with a width of 0,105 m and a depth of 0,205 m. The panels are held in place between the posts by means of large timber wedges at the rear.

The measuring points were on the rear of the barrier on a vertical measurement grid of 3 x 3 points with equal horizontal and vertical distances of 0,40 m. This measurement grid was located midway between the posts and in the centre of a post (the centre positions being approximately at the height of the joint between the upper and lower sections).

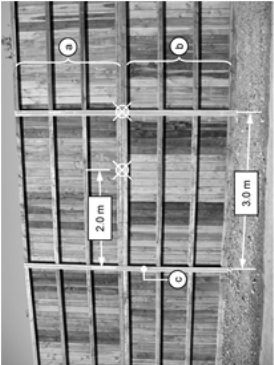


Figure D.1 – General view of test barrier (from front (traffic) side) – Crosses mark measurement positions based on the post spacing of 3 m. a: Upper panel (3 m wide x 2 m high); b: Lower panel (3 m wide x 2 m high); c: Section post

The source is at a height of 2,0 m above the ground. The prescribed measurement grid is applied midway between the posts and in the centre of a post (the crosses in Figure D.1 show the approximate positions of the loudspeaker/earr microphone axis).

The barrier thickness at the height of measurement is 0,100 m midway between the posts and the post thickness at the height of measurement is 0,205 m.

There are no sound reflecting nor sound diffracting parasitic objects acting in the sample area.

The test situation including the loudspeaker and microphone array is shown in Figure D.2.

EN 1793-6:2011 (E)

37

EN 1793-6:2011 (E)



Figure D.2 – Test arrangement showing loudspeaker and microphone array when measuring across the panel

EN 1793-6:2011 (E)

38

EN 1793-6:2011 (E)

D.2 Test object and test situation (example)

Figure D.3 shows the basic composition of the single elements of this single-leaf reflective timber noise barrier. Each panel of the barrier is constructed from vertical timber fence boards held in position by horizontal rails on the rear. The expansion gaps in between the panels are covered on the front of the barrier by vertical cover strips. The panels are 3,0 m wide and 2,0 m high.

The barrier is constructed in two sections. On the front of the barrier, the joint between the upper and lower section is sealed by a wide horizontal cover strip.

The posts are steel section columns with a width of 0,105 m and a depth of 0,205 m. The panels are held in place between the posts by means of large timber wedges at the rear.

The measuring points were on the rear of the barrier on a vertical measurement grid of 3 x 3 points with equal horizontal and vertical distances of 0,40 m. This measurement grid was located midway between the posts and in the centre of a post (the centre positions being approximately at the height of the joint between the upper and lower sections).

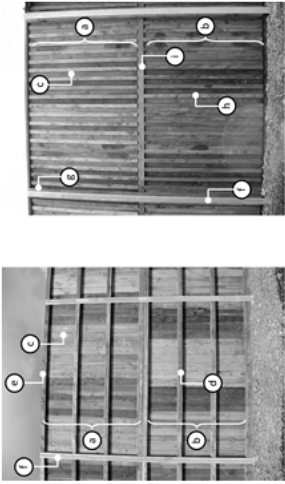


Figure D.3 – Basic composition of the single elements of the noise barrier. a: Upper panel; b: Lower panel; c: Main plank; d: Horizontal rail; e: Upper post; f: Lower post; g: Timber wedge; h: Vertical cover strip; i: Horizontal cover strip

Figure D.4 shows a typical cross-section through the barrier, including the dimensions of the different elements.

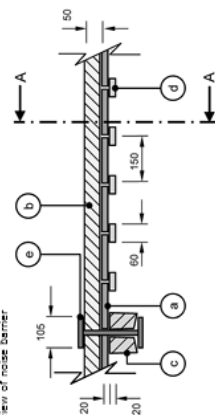
EN 1793-6:2011 (E)

39

Figuur 56 – Voorbeeld van meetverslag over de luchtgeluidsisolatiekenmerken volgens de NBN EN 1793-6 (2)

47/58

(a) Plan view of noise barrier



(b) Cross-section through A-A

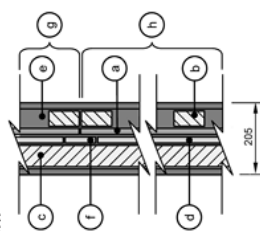


Figure D.4: Cross-section through noise barrier (Dimensions in millimetres). **a**: Fence board; **b**: Horizontal rail; **c**: Timber wedge; **d**: Cover strip; **e**: I-section post; **f**: Horizontal cover strip at joint between upper and lower panels; **g**: Upper panel; **h**: Lower panel

D.3 Results (example)

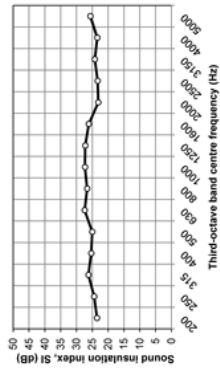
D.3.1. Part 1 – Results for ‘element’ in tabular form

Therapeutic based centre category (P2)	Particular values of found Incursion Index, II for 'element' for the 8 microzone positions, and the mean													
	Particular values													
	8i1	8i2	8i3	8i4	8i5	8i6	8i7	8i8	8i9	8i10	8i11	8i12	8i13	8i14
200	24.5	23.5	22.9	24.3	25.1	22.3	21.9	24.4	22.6	23.5				
250	25.1	29.3	20.8	25.8	31.4	22.9	22.1	31.4	23.8	24.4				
315	25.2	25.9	23.1	29.5	26.1	26.8	24.8	30.5	27.1	26.2				
400	30.5	27.9	30.1	21.9	21.7	22.0	28.7	30.9	28.6	25.3				
500	30.2	22.3	25.8	24.5	22.6	22.7	25.9	22.9	32.7	25.0				
630	25.7	22.7	26.2	34.7	33.0	35.3	27.4	26.3	29.7	27.4				
800	25.0	24.6	27.3	24.3	25.1	28.9	30.3	27.6	32.0	26.6				
1000	32.3	30.5	31.7	21.4	25.5	27.6	29.9	27.7	35.9	27.3				
1200	30.9	30.2	28.3	23.5	23.0	28.6	27.9	26.7	36.0	27.2				
1600	25.8	26.3	25.1	24.3	27.1	28.0	25.0	22.4	28.5	26.1				
2000	20.7	27.0	20.2	22.7	28.5	30.3	25.1	21.1	22.9	23.1				
2500	22.0	24.1	26.2	25.0	26.3	27.5	20.5	49.2	23.0	23.3				
3100	23.0	26.5	26.4	25.7	25.2	25.7	21.0	21.4	23.3	24.2				
4000	23.1	22.5	21.3	25.4	33.3	29.8	22.3	21.4	21.6	23.4				
5000	25.2	27.7	30.6	30.1	30.6	28.7	23.0	23.5	20.7	25.6				

Single number rating of airborne sound insulation for the acoustic element, $L_{A,w}$ = 20 dB

Airborne sound insulation category - D2

D.3.2. Part 2 – Results for ‘element’ in graphic form



Figuur 57 – Voorbeeld van meetverslag over de luchtgeluidsisolatiekenmerken volgens de NBN EN 1793-6 (3)

1.4. Markt van geluidsschermen en (geluids)absorberende wandbekledingen

We onderscheiden drie categorieën:

- (visueel) transparante schermen (er bestaan geen transparante wandbekledingen);
- (visueel) niet-transparante constructies (schermen, wandbekledingen), al of niet geluidsabsorberend;
- extra voorzieningen.

Voordat we de verschillende producten uit de voornoemde categorieën voorstellen, dienen we enige uitleg te verstrekken bij productnorm NBN EN 14388. Deze norm is de referentienorm voor de beoordeling van de kenmerken en prestaties van geluidbeperkende constructies langs wegen en voor de objectieve vergelijking van de systemen op de markt.

1.4.1 Productnorm NBN EN 14388

De akoestische en niet-akoestische prestaties van geluidbeperkende constructies hangen af van het ontwerp en de (combinatie van) toegepaste materialen. Niet-akoestische prestaties hebben betrekking op aspecten zoals veiligheid, milieubescherming, levensduur en duurzame ontwikkeling.

Het is belangrijk om enkel gecertificeerde producten volgens de productnorm NBN EN 14388 Verkeerslawaaibeperkende constructies langs wegen – Specificaties toe te passen.

In deze norm zijn de eisen en de waarden voor de essentiële kenmerken volgens het beoogde gebruik vastgelegd. Onder 11.3.3 is op figuur 51 het normatieve kader van productnorm NBN EN 14388 schematisch weergegeven.

In elke categorie (en de deelcategorieën onder 11.4.3) bestaan goed en minder goed presterende constructies.

We vermijden hierna de (goede of slechte) prestaties van elke categorie te veralgemenen, want het is de eindgebruiker die het beoogde doel en de gewenste prestaties bepaalt. Nadat dit is gebeurd, kan hij kiezen uit een uitgebreid aanbod aan gecertificeerde geluidbeperkende constructies. Op basis van de waarden in het CE-certificaat kan hij de prestaties volgens de specifieke behoeften objectief vergelijken.

Figuur 58 toont een voorbeeld van productkaart die bij elke geluidbeperkende constructie met CE-markering volgens de NBN EN 14388² moet worden gevoegd.

Aan te stippen valt dat het Europese normalisatiecomité (CEN) sinds 2014 aan een nieuwe ondersteunende norm werkt, om met het concept van duurzame ontwikkeling (*sustainability*) rekening te houden. Deze norm zal de methoden beschrijven waarmee het vermogen van producten om duurzame ontwikkeling te ondersteunen, kan worden vergeleken.

Dit concept is van groot belang voor onze toekomst. Verdere ontwikkelingen zijn echter noodzakelijk voordat een officiële norm over dit onderwerp zal kunnen worden gepubliceerd.

² Het voorbeeld heeft betrekking op de NBN EN 14388 :2004. Dat is de recentste versie bij het ter perse gaan van dit vademecum. Deze norm wordt herzien en de wijzigingen kunnen aanleiding geven tot (lichte) verschillen met het getoonde voorbeeld.

 01234	Marquage de conformité CE, utilisant le symbole "CE" donné dans la Directive 93/68/EEC. Numéro d'identification du laboratoire d'essai																
90 AnyCo Ltd, PO Box 21, B-1050 05	Nom ou marque identifiée et adresse enregistrée du fabricant les deux derniers chiffres de l'année au cours de laquelle le marquage est apposé																
EN 14388:2004 Écran antibruit pour la réduction du bruit du trafic routier : Type AnyNoise, élément acoustique type F longueur 4 m, poteau type P, dessins Ag1320, 12 mai 2000 et 1322...1326, 17 mai 2000 Poids propre d'un élément acoustique mouillé et mouillé réduit : <table border="0"> <tr> <td>Poids mouillé</td><td align="right">0.70 kN</td></tr> <tr> <td>Poids mouillé réduit</td><td align="right">0.92 kN</td></tr> </table> Résistance aux charges Charge verticale maximum qu'un élément peut supporter 150 kN/m Charge perpendiculaire (90°) qu'un élément acoustique peut supporter (due à la charge du vent et à la charge statique) : 1,2 kN/m² Charge perpendiculaire (90°) qu'un élément structural peut supporter (due à la charge du vent, à la charge statique et au poids propre) : <table border="0"> <tr> <td>Hauteur d'écran 3 m</td><td align="right">5,2 kN/m</td></tr> <tr> <td>Hauteur d'écran 4 m</td><td align="right">4.4 kN/m</td></tr> </table> Moment de flexion au niveau du sol qu'un élément structural peut supporter (dû au déblaiement de la neige) : 15 kNm Charge perpendiculaire (90°) qu'un élément acoustique peut supporter (due au déblaiement de la neige) : 14 kN / 2 m x 2 m Absorption acoustique: DL_a 11 dB Isolation acoustique aux bruits aériens : DL_R 27 dB Réflexion de la lumière : APD Danger des chutes de débris: class 3 Durabilité prévue des caractéristiques acoustiques Modifications de l'indice de réflexion acoustique DL_{R_i} après (5, 10, 15, and 20 ans) : <table border="0"> <tr> <td>En classes d'exposition typiques</td><td align="right">-3, -5, -5, -6 dB</td></tr> <tr> <td>En condition climatique 4K3</td><td align="right">-3, -5, -6, -8 dB</td></tr> </table> Modifications de l'indice d'isolation acoustique aux bruits aériens index DL_{S_i} après (5, 10, 15, et 20 ans): <table border="0"> <tr> <td>En classes d'exposition typiques</td><td align="right">0, 0, 0, -2 dB</td></tr> <tr> <td>En condition climatique 4K3</td><td align="right">-1, -2, -2, -3 dB</td></tr> </table> Durabilité prévue des caractéristiques non acoustiques Durée de vie : 30 ans Substances dangereuses Arsenic, Mercure < 'x' ppm	Poids mouillé	0.70 kN	Poids mouillé réduit	0.92 kN	Hauteur d'écran 3 m	5,2 kN/m	Hauteur d'écran 4 m	4.4 kN/m	En classes d'exposition typiques	-3, -5, -5, -6 dB	En condition climatique 4K3	-3, -5, -6, -8 dB	En classes d'exposition typiques	0, 0, 0, -2 dB	En condition climatique 4K3	-1, -2, -2, -3 dB	<i>No. de la Norme européenne</i> <i>Description du produit et information sur les caractéristiques réglementées</i>
Poids mouillé	0.70 kN																
Poids mouillé réduit	0.92 kN																
Hauteur d'écran 3 m	5,2 kN/m																
Hauteur d'écran 4 m	4.4 kN/m																
En classes d'exposition typiques	-3, -5, -5, -6 dB																
En condition climatique 4K3	-3, -5, -6, -8 dB																
En classes d'exposition typiques	0, 0, 0, -2 dB																
En condition climatique 4K3	-1, -2, -2, -3 dB																

Figuur 58 – Voorbeeld van productkaart van een geluidbeperkende constructie met CE-markering (NBN EN 14388 : 2004)

1.4.2 Transparante geluidsschermen

Schermen die (visueel) transparant zijn, worden meestal om esthetische redenen toegepast. Ze zijn echter geluidsreflecterend. Ze dienen dan ook goed doordacht te worden toegepast en de nadelen van geluidsreflectie dienen zoveel mogelijk te worden beperkt. Daarom verdienen vlakke, naar de rijbaan hellende schermen, naar de rijbaan gebogen schermen of gedeeltelijk geluidsabsorberende (en dus niet-transparante) schermen de voorkeur boven vlakke, rechte schermen.

Dergelijke schermen zijn van glas, polycarbonaat of methacrylaat. Figuur 59 toont enkele voorbeelden: een scherm op een viaduct (links), een hoog scherm met een transparant bovenstuk (midden) en een overkapping (rechts).



Figuur 59 – Voorbeelden van (visueel) transparante geluidsschermen

Wegens de stijlen zijn deze schermen echter niet volledig transparant. Dat is enkel het geval wanneer men loodrecht op de schermen kijkt, wat niet aan te raden is voor bestuurders. Daarom wordt het **statische (visuele) transparantie** genoemd. Ook door bevuiling, veroudering, tags, enz. zal de transparantie verminderen.

Er bestaan echter ook schermen met een **dynamische visuele transparantie**. Zij bieden geen statische transparantie, maar zijn zeer nuttig voor de veiligheid. Ze verminderen het aantrekkend effect van schermen langs een weg. Zij maken het mogelijk voertuigen te onderscheiden die een oprit oprijden, net zoals voertuigen die een oprit oprijden voertuigen op de hoofdweg kunnen zien aankomen.

Figuur 60 toont een voorbeeld van dynamisch transparant scherm. Het effect is echter beter zichtbaar op een video.



Figuur 60 – Voorbeeld van dynamisch transparant geluidsscherm

1.4.3 Niet-transparante constructies

Constructies die (visueel) niet transparant zijn, kunnen geluidsabsorberend of -reflecterend zijn.

Ze worden uit (een *combinatie* van) diverse materialen geproduceerd. Op de Europese markt zijn de volgende soorten beschikbaar:

1. constructies van metaal;
2. constructies van plastic;
3. constructies van hout;
4. constructies van beton;
5. geluidsschermen van minerale wol;
6. schanskorven (met stenen gevulde metalen kooi);
7. andere bijzondere constructies (sonische kristallen, lage schermen, fotonvoltaïsche en zonnepanelen, pollutantabsorberende panelen, enz.).

Bij geluidsabsorberende producten zorgen doorgaans **twee delen of materialen** voor het **isolerend en absorberend effect**.

Voor geluidsisolatie is een zware constructie of een zwaar materiaal nodig om de energie die door de constructie gaat, af te zwakken. Voor geluidsabsorptie is een materiaal nodig dat de invallende energie opvangt, om te vermijden dat het te veel reflecteert. Dat vereist een poreus materiaal, maar poreusheid is weinig bevorderlijk voor de geluidsisolatie.

Zoals vermeld onder 11.4.1, **worden hierna geen voor- en nadelen van de verschillende productsoorten vergeleken**. Voor bepaalde producten of materialen slagen (goede) fabrikanten er soms in een oorspronkelijk inherent nadeel om te buigen en af te zwakken (galvanisatie van staal, weerstand tegen corrosie van aluminium, weerstand tegen UV-straling van plastic, weerstand tegen schimmelvorming van hout, weerstand tegen scheurvorming van beton, weerstand tegen verkrumming van minerale wol, enz.). **Goede producten zullen dus steeds goed presteren, ongeacht het materiaal**. Het heeft geen zin een slecht geluidsscherm van hout te vergelijken met een goed geluidsscherm van beton en veralgemenend te stellen dat schermen van beton beter zijn dan schermen van hout. Dat is fout, net zoals ook het omgekeerde fout is. Het is verheugend vast te stellen dat een uitgebreid en gevarieerd aanbod aan *goede* producten beschikbaar is, ongeacht het materiaal. Dat biedt de gebruiker een ruime keuze voor elke toepassing.

Hier zij nogmaals aangestipt dat het belangrijk is om enkel gecertificeerde producten volgens de productnorm **NBN EN 14388 Verkeerslawaaibeperkende constructies langs wegen – Specificaties toe te passen, waarin de minimale prestaties voor elke toepassing zijn vastgelegd**. **Op die manier beschikt men over goed presterende, veilige en harmonieus ingepaste constructies met een lange levensduur, die gemakkelijk kunnen worden onderhouden, gerepareerd en gerecycled**.

Ongeacht de materiaalsoort, is **op alle geluidbeperkende constructies begroeiing mogelijk**³. Het kan daarbij gaan om constructies van gestapelde elementen waartussen of waarin grond of ander vulmateriaal met aangepaste begroeiing is aangebracht (figuur 69 E, F, G en H) of om begroeiing (meestal klimplanten) voor en/of achter de geluidbeperkende constructie (figuren 66 C en 71 A, B, C en D). **De begroeiing wordt aangebracht om de constructie harmonieus in het landschap in te passen en zelden omwille van de akoestische prestaties**. Hiervoor kunnen enkel de materialen van de constructie zelf in aanmerking worden genomen.

³ Schermen met begroeiing dienen geregeld besproeid en onderhouden te worden.

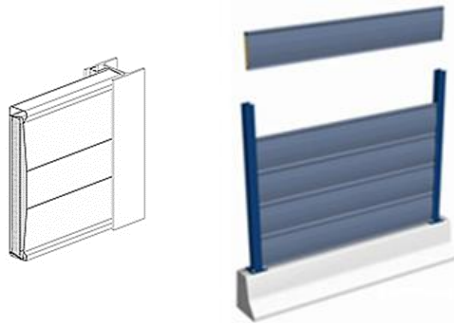
1.4.3.1 Constructies van metaal

Geluidbeperkende schermen en wandbekledingen van metaal (gegalvaniseerd staal, aluminium) bestaan uit elementen die horizontaal of verticaal tussen stijlen worden aangebracht.

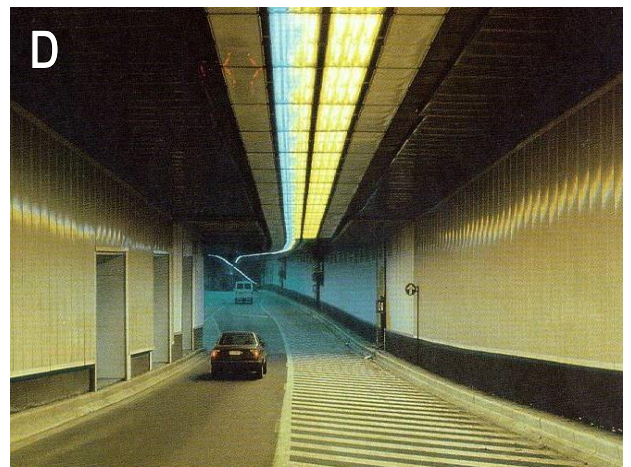
Ze zijn licht en meestal beschikbaar in verschillende kleuren en tinten, en met divers voorkomen.

Geluidsabsorberende elementen zijn elementen waarvan de absorberende zijde eigenlijk een geperforeerd rooster is waarachter panelen van minerale wol zijn aangebracht.

Figuur 61 toont een voorbeeld van een constructie van metaal en van de wijze waarop het kan worden aangebracht.



Figuur 61 – Voorbeeld van geluidsscherm van metaal en van de aanbrengingswijze



Figuur 62 – Constructies van metaal: A = verticale elementen; B = schuine elementen; C = horizontale elementen; D = wandbekledingen

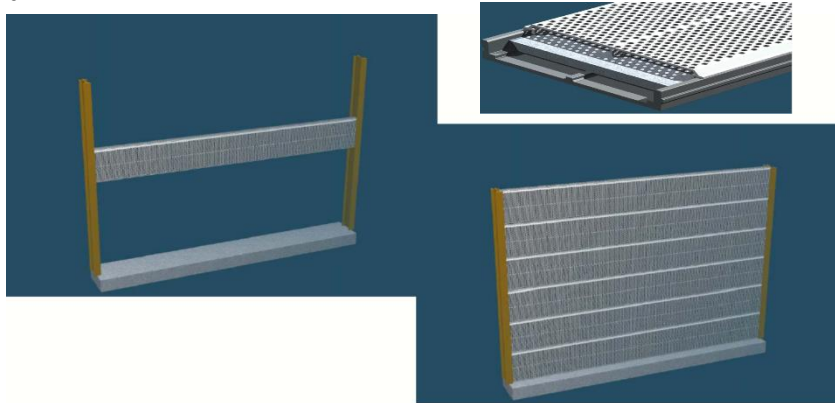
1.4.3.2 Constructies van plastic

Geluidbeperkende schermen en wandbekledingen van plastic bestaan uit geluidsabsorberende elementen die horizontaal of verticaal tussen stijlen worden aangebracht.

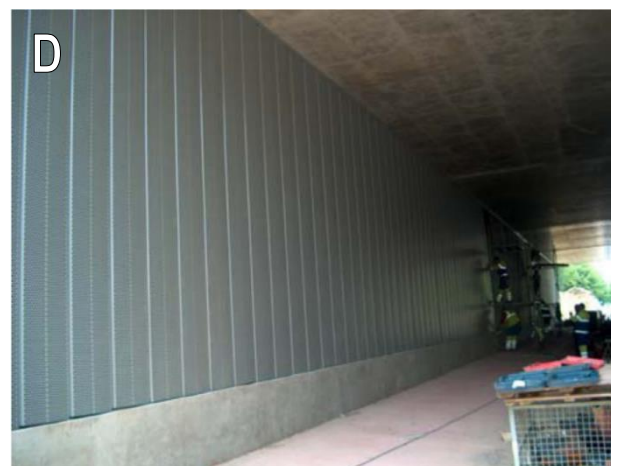
Ze zijn licht en meestal beschikbaar in verschillende kleuren en tinten, en met divers voorkomen.

Geluidsabsorberende elementen zijn elementen waarvan de absorberende zijde eigenlijk een geperforeerd rooster is waarachter panelen van minerale wol zijn aangebracht.

Figuur 63 toont een voorbeeld van een constructie van plastic⁴ en van de wijze waarop het wordt aangebracht.



Figuur 63 – Voorbeeld van geluidsscherm van plastic en van de aanbrengingswijze



⁴ Plasticschermen kunnen soms van gerecycled materiaal zijn.

Figuur 64 – Constructies van plastic: A en D = rechte, verticale elementen; B en C = schuine, horizontale elementen

1.4.3.3 Constructies van hout

Houten geluidbeperkende schermen en wandbekledingen kunnen van verschillende houtsoorten worden gemaakt. Dat kunnen harshoudende of exotische houtsoorten zijn. Harshoudende soorten dienen met een vochtwerend middel te worden behandeld. Exotische soorten zijn van nature resistenter maar ook duurder. De elementen worden horizontaal of verticaal tussen stijlen aangebracht.

Geluidsabsorberende elementen zijn elementen waarvan de absorberende zijde bestaat uit (geïntegreerde of geappliqueerde) elementen van hout, die het geluidsabsorberend materiaal (doorgaans minerale wol) moeten beschermen.

Figuur 65 toont enkele voorbeelden van constructies van hout en van de wijze waarop ze kunnen worden aangebracht.



Figuur 65 – Voorbeelden van geluidsschermen van hout en van de aanbrengingswijze



Figuur 66 – Constructies van hout: A, B, C = schermen; C = met begroeiing; D = wandbekleding

1.4.3.4 Constructies van beton

Geluidbeperkende schermen en wandbekledingen van beton bestaan uit elementen die horizontaal of verticaal tussen stijlen worden aangebracht. **De elementen kunnen ook zelfdragend zijn**, zodat geen stijlen nodig zijn.

Ruw beton is niet geluidsabsorberend. Om een geluidsabsorberende functie te kunnen vervullen, wordt het scherm uit twee delen vervaardigd: een achterzijde van beton en een voorzijde van geluidsabsorberend materiaal. Het beton dient dan als ondergrond voor het absorberend materiaal, net alsof op een betonnen geluidsscherm geluidsabsorberende bekleding zou worden aangebracht om geluidsreflectie op het beton tegen te gaan. Geluidsabsorberende bekledingen kunnen van metaal (figuur 68), plastic of hout zijn, maar meestal wordt poreus beton of houtbeton toegepast.

Figuur 69 (A tot D) toont geluidsschermen van beton met geluidsabsorberende bekleding. Ze bezitten echter niet dezelfde porositeit als minerale wol. Ze worden in reliëf uitgevoerd, om het absorberend oppervlak te vergroten en geluidsabsorberend te werken.

Figuur 69 (E tot G) toont stapelconstructies met lage geluidsabsorberende prestaties. Bovendien kan de grond in dergelijke constructies verzakken en kan dus niet als geluidsisolerend materiaal worden toegepast.

Geluidsschermen van beton en geluidsabsorberende bekledingen zijn zwaar en meestal beschikbaar in een beperkt aantal kleuren en tinten. Ook de mogelijkheden op het vlak van voorkomen zijn beperkt.

Figuren 67 en 68 tonen voorbeelden van zelfdragende schermen van beton en van de wijze waarop ze worden aangebracht.



Figuur 67 – Voorbeeld van (aanbrenging van) zelfdragend betonnen geluidsscherm met geluidsabsorberende bekleding van houtbeton



Figuur 68 – Voorbeeld van (aanbrenging van) zelfdragend betonnen geluidsscherm met geluidsabsorberende bekleding van metaal



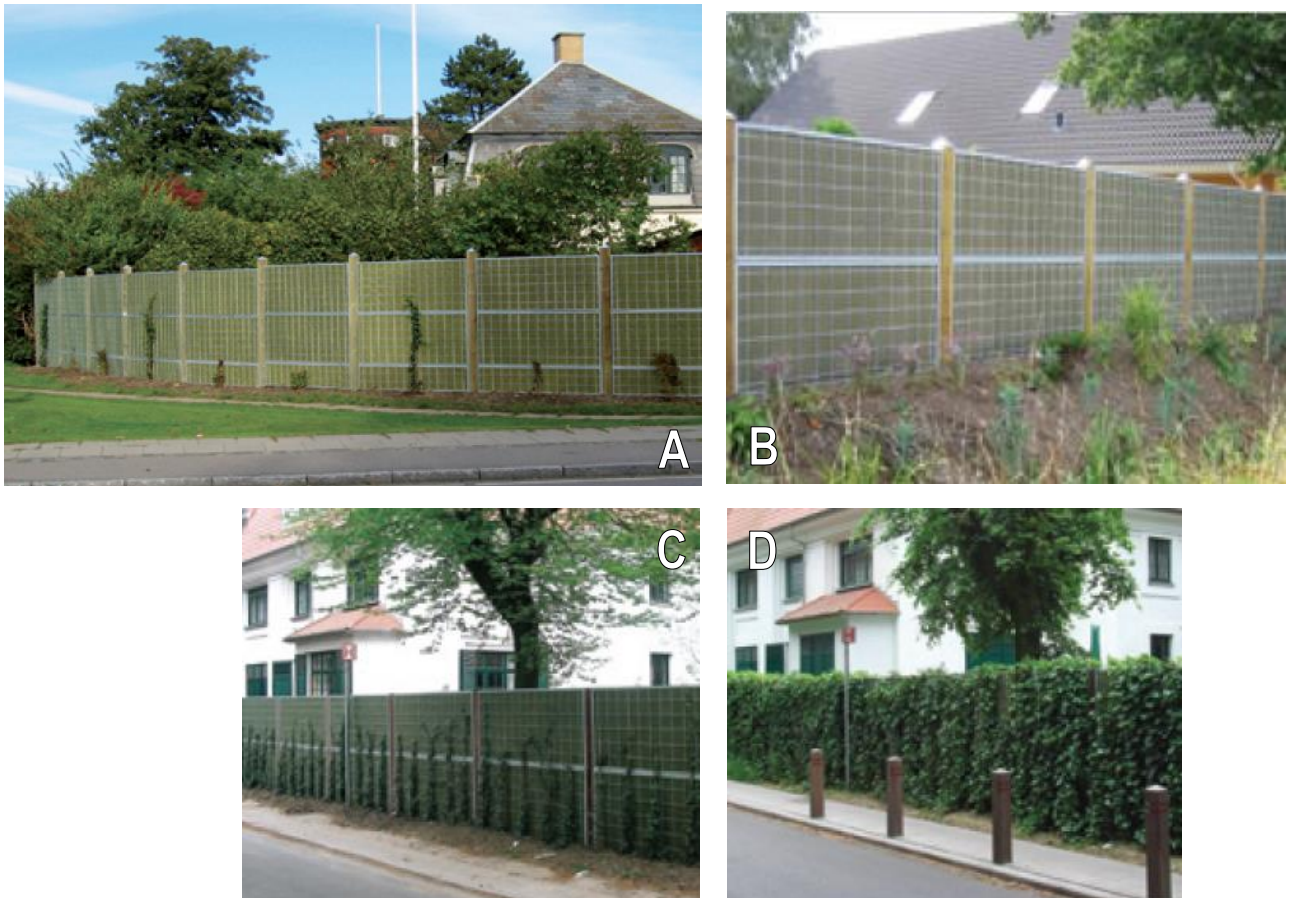
Figuur 69 – Geluidsschermen van beton: A, B = poreus beton; C, D = houtbeton; E, F, G, H = stapelconstructie

1.4.3.5 Geluidsschermen van minerale wol

Geluidsschermen van minerale wol bestaan uit volledige elementen van steenwol met hoge dichtheid. Het is de enige soort waarbij hetzelfde materiaal (steenwol) voor geluidsabsorptie en -isolatie zorgt. Als bescherming en ondersteuning van de steenwol wordt steeds traliewerk aangebracht. Dat maakt ook begroeiing mogelijk. De elementen worden horizontaal tussen stijlen aangebracht. Figuren 70 en 71 tonen voorbeelden van geluidsschermen van minerale wol.



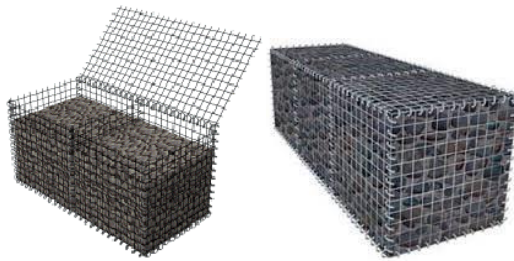
Figuur 70 – Voorbeeld van geluidsscherm van minerale wol



Figuur 71 – Geluidsschermen van minerale wol: A, B, C, D = algemeen zicht; C, D = met klimplanten

1.4.3.6 Schanskorven

Een schanskorf is een soort van kooi, meestal van stevige gevlochten ijzerdraad, gevuld met stenen. De korven kunnen naast en op elkaar worden gestapeld, als decoratie voor een naakte gevel of om een keermuur of geluidsscherm te vormen (figuur 72).



Figuur 72 – Schanskorven: met stenen gevulde metalen kooien (links) en als elementen van een geluidsscherm (rechts)

Wegens hun eenvoud bieden schanskorven tal van mogelijkheden op het vlak van kleur en textuur (figuur 73 links). Er bestaan ook dunnere schanskorven (figuur 73 rechts), die als bouwelementen voor een muur kunnen worden toegepast (zie 11.4.3.1 tot 11.4.3.5 hogerop).



Figuur 73 – Voorbeelden van kleur- en textuurmogelijkheden (links) en van dunne schanskorven als bouwelementen voor een muur (rechts)

Schanskorven zijn doorgaans niet geschikt als geluidsscherm. Ze zijn immers niet geluidsabsorberend en -isolierend, omdat ze zelf en als geheel niet luchtdicht zijn. Recentelijk heeft een fabrikant echter een model van geluidsscherm met schanskorven ontworpen dat uitstekend presteert op het vlak voor geluidsabsorptie en -isolatie (figuur 74).



Figuur 74 – Voorbeeld van geluidsscherm met schanskorven met uitstekende geluidsabsorberende en -isolerende prestaties (bron: vbion.com)

1.4.3.7 Andere bijzondere constructies

Sonische kristallen

Schermen die volgens het principe van sonische kristallen zijn opgebouwd, zijn vanuit zuiver wetenschappelijk oogpunt een interessante ontwikkeling. Ze vergen echter nog heel wat onderzoek. De eerste praktische toepassingen hebben nog geen reële prestaties op het terrein kunnen aantonen. Daarom wordt dit concept enkel ter informatie vermeld.

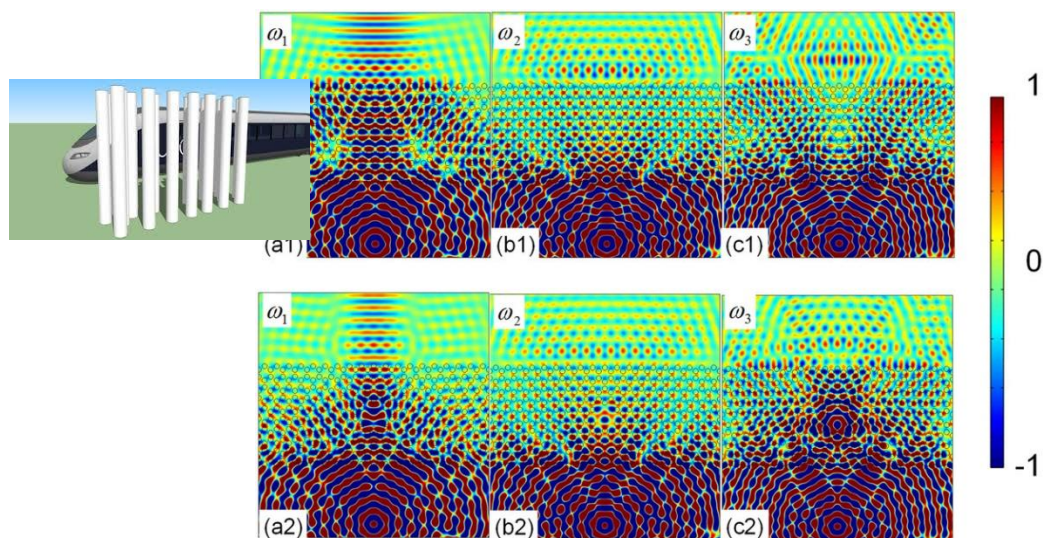


Figuur 75 – Sonische kristallen: sculptuur van Eusebio Sempere (Madrid)

“Sonische kristallen zijn vaste geluidsverstrooiende elementen van synthetisch materiaal met een periodieke opstelling in een vloeibaar milieu”.

In 1995 illustreerde beeldhouwer Eusebio Sempere met zijn sculptuur van een reeks cilindrische staven van roestvrij staal op een verstelbare schijf (figuur 75) de invloed van sonische kristallen op de voortplanting van geluidsgolven: afhankelijk van de oriëntatie van de sculptuur, de frequentie en de positie van de geluidsbron en de ontvanger worden ze versterkt of afgezwakt.

De effecten van deze sculptuur zijn een logisch gevolg van de manier waarop ze beweegt en de golven die er zich voortplanten met talrijke interferenties van een zeer complex geheel dat diffracteert of uitwaaiert (figuur 76).



Figuur 76 – Effect van sonische kristallen op de voortplanting van geluidsgolven bij verschillende frequenties

Fotovoltaïsche panelen

Sommige spelers op de Europese markt produceren transparante geluidsschermen met ingebouwde fotovoltaïsche cellen (figuur 77).



Figuur 77 – Voorbeeld van geluidsscherm met fotovoltaïsche cellen

Zonnepanelen

Ter informatie vermelden we dat het Europese project NOISUN een interessant concept heeft ontwikkeld, waarbij geluidsschermen met zonnepanelen voor warmwaterproductie worden gebruikt. Figuur 78 toont het prototype in Lerum (Zweden).



Figuur 78 – NOISUN-project: geluidsschermen met zonnepanelen

Diffractionerende kant van de rijbaan



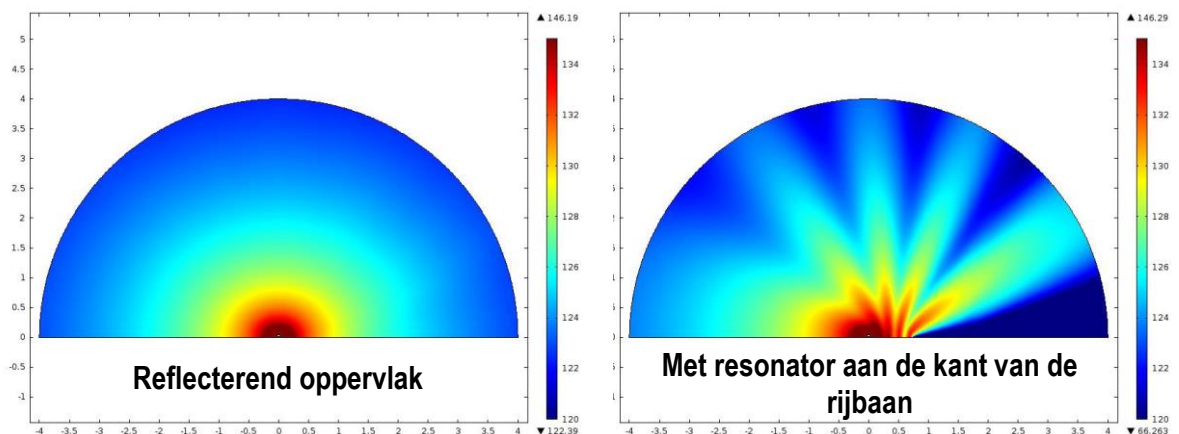
Figuur 79 – Whisstone: proefstrook met diffractionerende kant van de rijbaan (Soesterberg, Nederland)
(bron: www.mplusp.eu)

Een diffractionerende strook naast de rijbaan is eigenlijk geen geluidsscherm. Ze heeft wel als doel de voortplanting van wegverkeerslawaai tegen te gaan en kan dus ook als een geluidbeperkende constructie worden beschouwd.

Figuur 79 toont een proefstrook naast een weg in Nederland. Het concept steunt op een resonator aan de kant van de rijbaan die (net zoals wanneer men in een fles blaast) voor interactie tussen de uitgaande golven en de andere golven zorgt, zodat een schaduwzone ontstaat.

Figuur 80 toont de theoretische voortplanting van een sferische golf (vergelijkbaar met het geluid dat een voertuig uitzendt) voor een reflecterend wegoppervlak en een specifieke resonator aan de kant van de rijbaan.

Omdat wegverkeerslawaai uit verschillende frequenties is samengesteld, is een geheel van resonators noodzakelijk. Dit verklaart de bijzondere vorm van de constructie.



Figuur 80 – Theoretische voortplanting van een hemisferische golf, zonder en met resonator
(bron: *Universiteit van Twente, 4Silence*)

Recente proeven op ware grootte in Nederland hebben bemoedigende resultaten opgeleverd, zij het dat de geluidsreductie slechts 4 dB(A) voor constructies met dubbele breedte ($\pm 1,6$ m) bedroeg. Interferenties kunnen het wegverkeerslawaaï in bepaalde richtingen versterken. Dit veelbelovende concept dient dan ook als een nog te verbeteren prototype te worden beschouwd.